



Stockage du carbone dans les sols et dynamique des paysages en Amazonie : l'exemple du Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso – Brésil dans le cadre du REDD (Réduction des Émissions par Déforestation et Dégradation)

Lucelma Aparecida Nascimento

► To cite this version:

Lucelma Aparecida Nascimento. Stockage du carbone dans les sols et dynamique des paysages en Amazonie : l'exemple du Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso – Brésil dans le cadre du REDD (Réduction des Émissions par Déforestation et Dégradation). Géographie. Université Rennes 2, 2015. Français. NNT : 2015REN20028 . tel-01220546

HAL Id: tel-01220546

<https://theses.hal.science/tel-01220546>

Submitted on 26 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THESE / UNIVERSITE RENNES 2 HAUTE-BRETAGNE
Sous le Sceau de l'Université Européenne de Bretagne

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE EUROPEENNE DE BRETAGNE
Mention : Géographie
Ecole Doctorale Sciences Humaines et Sociales

Présentée par
Lucelma Aparecida Nascimento

Préparée à l'Unité Mixte de Recherche 6554
Université Rennes 2 Haute-Bretagne
COSTEL LETG UMR 6554 CNRS

*Stockage du carbone dans les sols et
dynamique des paysages en
Amazonie : l'exemple du Nord-Ouest
de l'État de Mato Grosso – Brésil dans
le cadre du
REDD (Réduction des Émissions par
Déforestation et Dégradation)*

Thèse soutenue le 17 septembre 2015
devant le Jury composé de :

Messias Modesto dos Passos : Professeur à l'Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Campus de Presidente Prudente, São Paulo, Brasil – Examinateur

Vincent Dubreuil : Professeur à l'Université Rennes 2 / Directeur de Thèse

Michel Grimaldi : Directeur de Recherche à l'Institut de Recherche et Développement – IRD, Paris / Rapporteur

François Laurent : Professeur à l'Université du Maine, Le Mans / Rapporteur

Johan Oszwald : Maître de Conférences HDR à l'Université Rennes 2.
Co-directeur de Thèse / Examinateur





SOUS LE SCEAU DE L'UNIVERSITE EUROPEENE DE BRETAGNE

Université Rennes 2 Haute-Bretagne

Ecole Doctorale – Sciences Humaines et Sociales

Laboratoire COSTEL – Climat et Occupation du Sol par Télédétection

LETG UMR 6554 CNRS

Département de Géographie et Aménagement de l'Espace

Thèse de Doctorat en Géographie

***Stockage du carbone dans les sols et dynamique des paysages en Amazonie :
l'exemple du Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso – Brésil dans le cadre du
REDD (Réduction des Emissions par Déforestation et Dégradation)***

Présentée par:

Lucelma Aparecida Nascimento

Soutenue à Rennes le 17 septembre 2015.

Membres du Jury :

Messias Modesto dos PASSOS Professeur à l'Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Campus de Presidente Prudente, São Paulo – Examinateur
Vincent DUBREUIL : Professeur à l'Université Rennes 2 – Directeur de Thèse.
Michel GRIMALDI : Directeur de Recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement – IRD, Paris – Rapporteur.
François LAURENT : Professeur à l'Université du Maine, Le Mans – Rapporteur.
Johan OSZWALD : Maître de Conférences à l'Université Rennes 2. Co-directeur de Thèse – Examinateur.

SOMMAIRE

<i>Dédicace</i>	7
Liste de sigles, abréviations et glossaire.....	9
Nomenclature et symboles.....	15
<i>Remerciements</i>	17
Résumé.....	19
Abstract.....	20
Resumo.....	21
Introduction générale.....	23
Partie 1. Le carbone et le stockage du carbone. Le REDD. La démarche générale.....	29
Chapitre 1. Le carbone et le stockage du carbone.....	33
Chapitre 2. Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone.....	45
Chapitre 3. Les méthodes et techniques.....	57
Partie 2. Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans le secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	77
Chapitre 4. Le contexte régional.....	81
Chapitre 5. Définitions des types d'occupation du sol dans le secteurs étudiés.....	103
Chapitre 6. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	119
Partie 3. Les paramètres physico-chimiques et géochimiques des sols des exploitations étudiées.....	139
Chapitre 7. Les paramètres physico-chimiques et géochimiques des sols.....	143
Chapitre 8. Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol.....	169
Chapitre 9. Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols.....	193
Conclusion générale.....	223
Bibliographie.....	229
Annexes.....	251
Sources Utilisées.....	283
Table de Figures.....	287
Table de Tableaux.....	292
Table de Photographies.....	295
Table des Matières.....	297

Dédicace

*A Mémoire de mon Père Fernandes Pedroso do Nascimento et à ma
Mère Luzia Padilha do Nascimento.*

Liste de sigles, d'abréviations et glossaire

ACP = Analyse en Composantes Principales.

ADERJUR = Associação de Desenvolvimento Rural de Juruena.

AM = État d'Amazonas, Brasil.

AMAZONIA LEGAL = Grande extension du Nord et d'une partie du Centre-ouest et du Nord-est du Brésil qui enveloppe neuf États du Brésil, soit la totalité des États d'Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins et d'une partie de l'État du Maranhão (à l'Ouest du méridien 44° de longitude Ouest), avec approximativement, une surface de 5.217.423 km², qui correspond à 61% du territoire brésilien.

ASSENTAMENTO = Lieu ou zone divisée en lots par le gouvernement, habitée pour les personnes, soit les « assentados » qui sont généralement les petits producteurs, avec peu de ressources.

AST-USAF = *Advanced Skills Training-United States Air Force*.

Bol. /Bull. = Boletim/Bulletin.

CAPES = Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasília, Brasil.

Capim = Pâturage naturel à base de graminées.

CAREN = Centre Armoricaïn de Recherche en Environnement, France.

CBMA = Coordenação de Ciências Biológicas e Meio Ambiente, CNPq, Brasília, Brasil.

CCNUCC = Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

CENA = Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, São Paulo, Brasil.

cf. = confirmer.

Chapada = Plateau plus ou moins horizontal et à rebords abrupts.

CIFOR = Centro Internacional de Pesquisa Florestal/Center for International Forestry Research.

CNPq = Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília, Brasil.

CNRS = Centre National de la Recherche Scientifique, France.

CO/Co = Cotriguaçu.

Comm = communication.

CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasil.

Coords. = Coordenadores/Coordinateurs ou Coordonmateurs.

COP = Conferência das Partes/Conférence des Parties.

COPERSERV = Cooperativa de Trabalhos Múltiplos e Saneamento Básico Ltda. Mato Grosso, Brasil.

Córregos = Ruisseaux.

COS = Carbone Organique du Sol.

COSTEL = Climat et Occupation du Sol par Télédétection.

COT = Carbone Organique Total.

CPRM = Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil.

DF = Distrito Federal, Brasil.

DGM = Divisão de Geologia e Mineralogia, Brasil.

DNPM = Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasil.

DSG = Diretoria de Serviço Geográfico, actuelle Diretoria de Cartografia Digital/Ministério da Guerra - Ministère de l'Armée de Terre du Brésil.

Ed. /Eds. = Edição, Editora, Editores, Edition, Editeur, Editeurs, Maison d'Édition.

EGES = Émissions des Gaz à l'Effet de Serre.

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil.

EMPAER = Empresa Matogrossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural, Brasil.

ES = État d'Espírito Santo, Brasil.

ESALQ = Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil.

FAMEVZ = Faculdade de Agronomia, de Medicina Veterinária e Zootecnia, UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAPEMAT = Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso, Brasil.

Fazenda/Faz. (Ferme) = Grande propriété foncière.

GES = Gaz à Effet de Serre.

GO = État de Goiás, Brasil.

GPS = Global Positioning System.

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil.

ICAA = Laboratório Integrado de Química e Física do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT/Campus de Sinop, Mato Grosso, Brasil.

ICET = Instituto de Ciências Exatas e da Terra, UFMT, Brasil.

ICHS = Instituto de Ciências Humanas e Sociais, UFMT, Brasil.

ICRAF = International Centre for Research in Agroforestry (Centro Internacional de Pesquisas Agroflorestais).

IDH = Indice de Desenvolvimento Humano/Indice de Développement Humain.

IFMT = Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Estado de Mato Grosso.

IFP = Institut Français du Pétrole.

IFR = Institut Fédératif de Recherche, France.

Igarapés = Dénomination donnée aux « Córregos, Riachos et Ribeirões » (Ruisseaux) de l'Amazonie.

INCRA = Instituto Nacional de Colonização e da Reforma Agrária, Brasil.

INDEA = Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso, Brasil.

INPA = Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Brasil.

INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique, France.

IPAM = Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasil.

IPCC = Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur les Changements Climatiques.

IRD = Institut de Recherche pour le Développement, France.

JU/Ju = Juruena.

LAMUTA = Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas, UFMT, Brasil.

Landsat TM = Landsat Thematic Mapper.

LETG = Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique, France.

Ma = Millions d'années.

Matogrossense (Mato-grossense) = de l'Etat de Mato Grosso, Brasil.

MCTI = Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasil.

MDP = Mécanisme du Développement Propre.

MG = État de Minas Gerais, Brasil.

MMA = Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Brasil.

MME = Ministério de Minas e Energia, Brasil.

MNT = Modèle Numérique de Terrain.

MPOG = Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasil.

MS = État de Mato Grosso do Sul, Brasil.

MT = État de Mato Grosso, Brasil.

n. = número/numéro.

ONFI = Office National de Forêts International/France

ONFB = Organização Nacional de Florestas/Brasil.

ONU = Organisation des Nations Unies.

Organ. = Organizador(es/as) / Organisateur(s/trices).

PA = État du Pará, Brasil.

PB = État de la Paraíba, Brasil.

PETROBRAS = Petróleo Brasileiro S/A.

PIN = Programa de Integração Nacional, Brasil.

Planaltos = Plateaux.

PNUD = Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

pp. = páginas/pages.

ppm = partie par millions.

PR = État du Paraná, Brasil.

PSA = Pagamentos por Serviços Ambientais/Paiements pour les Services Environnementaux.

REDD = Réduction des Emissions par Déforestation et Dégradation.

Rel. = Relatório/Rapport.

Rev. = Revista/Revue.

Rivières/Fleuves = Rios.

RJ = État de Rio de Janeiro, Brasil.

RO = État de Rondônia, Brasil.

RS = État de Rio Grande do Sul, Brasil.

SAFs = Systèmes Agro-forestiers.

SC = État de Santa Catarina, Brasil.

SEC = Secretaria Estadual de Cultura – Mato Grosso, Brasil.

SEMA = Secretaria Estadual do Meio Ambiente – Mato Grosso, Brasil.

SEPLAN = Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral – Mato Grosso, Brasil.

SG = Secretaria Geral. MME, Brasil.

SICME = Secretaria de Indústria, Comércio, Minas e Energia – Mato Grosso, Brasil.

SINFRA = Secretaria de Infraestrutura do Estado de Mato Grosso, Brasil.

SNLCS = Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, Brasil.

SP = État de São Paulo, Brasil.

TFSA = Sol fin séché à l'air.

UE = L'Union Européenne.

UEB = Université Européenne de Bretagne.

UFAM = Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

UFLA = Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil.

UFMS = Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

UFMT = Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

UFPA = Universidade Federal do Pará, Brasil.

UFPR = Universidade Federal do Paraná, Brasil.

UFSJ = Universidade Federal de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil.

UFU = Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

UFV = Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

UMR = Unité Mixte de Recherche, France.

UnB = Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil.

UNESCO = Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura / Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture.

UNESP = Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, Brasil.

UNICAMP = Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

USA = United States of America.

USDA = United States Department of Agriculture.

USP = Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

V. = Volume.

Vereda = Région plus abondante en eau dans une zone de couverture végétale du Cerrado, parfois distribuée en rangées, formée par des espèces herbacées, graminées, arbustives et arborées, avec la prédominance du palmier *Buriti* [*Mauritia flexuosa* (vinifera), L. f.].

Nomenclature et symboles

Ag₂O = Oxyde d'Argent.

Al = Aluminium.

Al₂O₃ = Alumine.

Ba = Baryum.

C = Carbone.

°C = Degrés Celsius.

Ca = Calcium.

CaCO₃ = Carbonate de Calcium.

CaO = Oxyde de Calcium.

CH₄ = Méthane.

Cl = Chlore.

CO = Monoxyde de Carbone.

CO₂ = Dioxyde de Carbone ou Gaz Carbonique.

Cr₂O₃ = Oxyde de Chrome.

CEC = Capacité d'Echange de Cations.

CuO = Oxyde de Cuivre.

Fe = Fer.

Fe₂O₃ = Oxyde de Fer (Hématite).

FeO(OH) = Goethite (90 % de Fe₂O₃ et 10 % de H₂O).

FeTiO₂ = Ilménite.

H (H₂) = Hydrogène.

H₂O = Eau.

I = Iode.

K = Potassium.

K₂O = Oxyde de Potassium.

l = litre.

m = Saturation en Al (Aluminium).

mg = milligrammes.

Mg = Magnésium.

M.g = Mégagrammes ou tonnes.

MgO = Oxyde de Magnésium.

Mn = Manganèse.

MnO = Oxyde de Manganèse.

M.O. = Matière Organique.

N = Azote.

Na = Sodium.

Na₂O = Oxyde de Sodium.

NbO = Oxyde de Niobium.

NO₂ = Oxyde d'Azote.

N₂O = Monoxyde d'Azote ou Protoxyde d'Azote.

O (O₂) = Oxygène.

P = Phosphore.

P.F. = Perte au Feu.

Pg = Petagrammes ou milliards de tonnes.

pH = Potentiel d'Hydrogène.

pH/CaCl₂ = Potentiel d'Hydrogène du Chlorure de Calcium.

P₂O₅ = Oxyde de Phosphore.

Rb₂O = Oxyde de Rubidium.

SB = Somme en Bases.

Si = Silicium.

SiO₂ = Silice.

SnO₂ = Oxyde d'Etain.

SO₃ = Oxyde de Soufre.

Ti = Titane.

TiO₂ = Oxyde de Titane.

Tm₂O₃ = Oxyde de Thulium.

V = Saturation en Bases.

V₂O₅ = Oxyde de Vanadium.

Zn = Zinc.

ZnO = Oxyde de Zinc.

ZrO₂ = Oxyde de Zirconium.

Y = Yttrium.

Y₂O₃ = Oxyde d'Yttrium.

Remerciements

Ce mémoire est le bilan de quatre années de recherches au sein de l'Université Rennes 2, au Laboratoire COSTEL et dans le Département de Géographie et Aménagement de l'Espace, surtout, comme boursière de la CAPES, qui m'ont reconnue comme chercheuse depuis septembre 2011. Il est le fruit des travaux développés dans des projets de recherches menés dans les aires d'études du Mato Grosso. Ainsi l'honneur en revient à toutes ces personnes. C'est pourquoi je profite de l'occasion qui m'est offerte pour leurs témoigner ma gratitude.

Initialement à Madame la Professeure Marie-Josée PENVEN, pour notre grande amitié et ses conseils, pour son aide très précieuse dans tous les instants et tous les soutiens pendant mon séjour et de ma famille à Rennes et dans les précises corrections de mes travaux de thèse.

A Monsieur le Professeur Messias Modesto dos PASSOS de l'UNESP, Campus de Presidente Prudente, São Paulo, Brasil, pour l'amitié, son attention, ses conseils. Il me fait l'honneur de se déplacer pour être présent comme Président de mon Jury à Rennes.

A Monsieur le Professeur Vincent DUBREUIL, de l'Université Rennes2, au Laboratoire COSTEL pour la direction de mes travaux de thèse.

A Monsieur le Professeur Michel GRIMALD Directeur de Recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement – IRD à Paris pour accepter d'être Rapporteur de ma thèse et par sa participation dans mon Jury.

A Monsieur le Professeur François LAURENT de l'Université du Maine, à Le Mans, par être Rapporteur aussi de ma thèse, et par sa présence dans mon Jury.

A Monsieur Johan OSZWALD, Maître de Conférence à l'Université Rennes au Laboratoire COSTEL et au Département de Géographie et Aménagement de l'Espace mon Co-directeur d'études de thèse.

A Monsieur le Professeur Marcel BURSZTYN, Directeur du CDS, de l'UnB, pour le soutien pédagogique et sa grande amitié, notamment pour être un des tuteurs de mes travaux de thèse au Brésil.

A Madame la Professeure Gilda Tomazini MAITELLI (UFMT), pour les enseignements, l'amitié et la force pour l'obtention de ma bourse d'études et au Monsieur le Professeur Hugo José Scheuer WERLE (UFMT), pour avoir été mon tuteur dans mes travaux de thèse au Brésil.

A Madame la Professeure Oscarlina Lúcia dos Santos WEBER, Directrice du Laboratoire des Sols de la FAMEVZ/UFMT, pour les analyses physico-chimiques, et principalement celles du carbone et de la matière organique, pour les travaux avec les éléments chimiques, les calculs des densités des sols pour la thèse, pour l'amitié et enseignements alliés à l'encouragement.

A Madame la Professeure Rúbia Ribeiro VIANA, Directrice du Laboratoire Multiutilisateur de Techniques Analytiques - LAMUTA du Département des Ressources Minérales de l'ICET/UFMT, pour son aide précise dans les analyses par la spectrométrie de la fluorescence des rayons X et diffractométriques des rayons X.

A Madame la Professeure Elma RIOS, Directrice de l'Alliance Française de Cuiabá, pour la grande amitié et ses importants enseignements sur la langue française. A Monsieur le Professeur Robert BARIOU, pour la grande amitié, pour les corrections initiales dans le texte de la thèse, et à toute sa famille pour les amitiés. A Monsieur le Professeur Hervé QUENOL, Directeur du

Laboratoire COSTEL au sein duquel j'ai travaillé et aux autres Professeurs et Chercheurs pour les amitiés et aides pendant tous ces années. Aux amis Bruno et Quentin de Rennes.

Aux Professeurs Paulo Roberto Menezes LIMA (UnB), Leonardo Cristian ROCHA (UFSJ), Priscila et Vitor BACANI (UFMS), pour leurs amitiés, l'appui et pour nos travaux ensemble. A Messieurs les Professeurs Rogério Junqueira PRADO de l'Institut de Physique de l'UFMT, Emerson Soares dos SANTOS de l'ICHS/UFMT, et à Madame la Professeure Elaine Arruda de Oliveira CORINGA de l'IFMT, pour leurs aides dans les travaux analytiques. A Monsieur Edilson Ramos VARANDA, de l'INCRA, pour les données précises sur l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer. Aux Géographes Luciano Félix de FIGUEIREDO et Joelson de Souza PASSOS, et à Jonatas Eduardo CASSIANO futur Géologue, tous de l'UFMT, pour leurs amitiés et les précieux concours pendant mes travaux sur le terrain et analytiques.

Au personnel de l'ONF-National Peugeot, et principalement Mademoiselle Cleide Regina de ARRUDA, Directrice à Cuiabá, et Monsieur Alan BERNARDES, responsable pour la Fazenda São Nicolau à Cotriguaçu, leurs fonctionnaires et habitants, pour toutes les ouvertures et interconnaissances pendant mes travaux dans la fazenda.

Au personnel de Juruena pour l'aide précise et principalement, Mademoiselle Ilse Maria CLAUDINO du Secrétariat d'Environnement. Les Messieurs Neri GRASSI et sa famille et d'autres de l'Assentamento Vale do Amanhecer, Miguel Angelo FAITTA et José Antonio FERNANDES de la Fazenda Preciosa.

A Neide et Geraldo Eduardo Cardoso RODRIGUES et Miguel Ferreira de MELO JUNIOR et sa famille pour les expressifs liens d'amitiés et pour nos avoir toujours reçue lors de nos séjours à Brasília. A Márcia et Pascoal pour l'amitié et les excellentes rencontres à Dom Aquino, MT, et aux amis Ana Célia et Luiz Carlos et familles à Cuiabá, MT et Goiânia, GO, pour les discussions et la force dans mes travaux de thèse au Brésil. A Maristela Bittencourt et son mari Marcondes pour la grande amitié.

A mes inoubliables amitiés du Centre Social de Villejean, à Rennes.

A mon mari, Deocleciano, à notre fils Cassius Marcellus, et à toute ma famille. A ma cousine Ondina et à sa fille notre cousine Ana Maria Torquato et son mari José, j'exprime ici ma plus profonde gratitude.

Résumé

Les changements d'utilisation des terres modifient les potentiels de stockage du carbone dans le sol. La déforestation et les techniques agricoles utilisées ont un impact significatif sur le cycle global du carbone et contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. L'objectif principal de cette thèse est donc de mettre en évidence les liens entre le stockage du carbone, les dynamiques d'occupation du sol et ses mises en valeur. Pour cette étude, nous avons utilisé les images de satellites sur la période 1987–2011 afin de classer les types d'occupations du sol. En effet, il ne s'agit pas uniquement de déterminer la quantité du carbone dans les sols mais également de vérifier le lien entre quantité de carbone et la gestion des sols dans des propriétés différentes. Les exploitations retenues sont situées au Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso et ont été choisies pour leurs modes d'exploitation différents : la Fazenda São Nicolau sur la commune de Cotriguaçu où une politique de reforestation a été menée, la Fazenda Preciosa (qui représente le modèle traditionnel d'élevage) et l'Assentamento Vale do Amanhecer (système d'implantation récente fondé sur le partage des terres entre petits propriétaires ayant chacun une stratégie d'exploitation) sur la commune de Juruena. Donc, nous avons mené des études approfondies, à travers une cartographie pédologique régionale à l'échelle 1 : 100.000, en association avec le relief, le réseau hydrographique, le substrat géologique régional, les changements climatiques, la couverture végétale et les sols, et après la démarche générale, basée dans des organigrammes établies pour ces travaux. Tous cela, parallèlement à la cartographie des données sur les partitions physiques de ces domaines pour la télédétection. De cette manière nous avons réalisé quelques analyses, dans le domaine des analyses physico-chimiques, tout d'abord sur le carbone et de la matière organique, de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X, de la diffraction des rayons X, de l'environnement géochimique – analyses statistiques, aussi bien que les calculs des densités dans les sols échantillonnés, dans un contexte géochimique pour la détermination des éléments qui sont associés au carbone et à la matière organique. Des études sur l'usage du sol ont été aussi effectuées. Les résultats montrent une fourchette de valeurs de stock de carbone entre 0,01 et 8,89 kg/m² distribuées de façon diversifiée entre les classes d'occupation du sol retenues. Une cartographie des classes de stock de carbone a permis de confronter celles-ci avec l'occupation des sols et les classes de texture. Nous avons constaté que les meilleures corrélations sont trouvées entre les classes de stock de carbone et certains types de forêt haute et entre les classes de stock de carbone et les textures argileuses. Par contre aucun mode d'occupation du sol ne semble avoir une influence radicale sur les stocks de carbone. Ce sont les pratiques culturelles et leur historique sur chaque exploitation qui permettent de mieux expliquer les résultats. Cette approche physico-chimique a visé principalement l'identification dans les régions étudiées des types de sols qui ont des niveaux plus élevés de la matière organique et les éléments nutriments où le stockage de carbone est plus assuré. Les résultats que nous avons obtenus dans cette recherche nous amènent à proposer un nouveau modèle d'études pour la mise en place de nouvelles idées sur le REDD, ainsi que pour des données de l'organisation du stockage du carbone dans les aires distinctes étudiées, qui peuvent être extrapolées à d'autres régions et dans les interprétations objectives qui seront évidemment obtenues de cet ensemble de travaux.

Mots clés : Etat de Mato Grosso, Cotriguaçu, Juruena, stockage de carbone, REDD, sols, matière organique.

Abstract

The land use changes altered the carbon storage potential in the soil. The deforestation and agricultural techniques have a significant impact on the global carbon cycle and contribute to greenhouse gases. The main objective of this thesis is to highlight the links between carbon storage, land use and the dynamics. For this study, we used satellite images over the period 1987 – 2011, to classify types of land occupations. In fact, not only to determine the amount of carbon in the soil, but also to check the connection between the amount of carbon and land management in different properties. Farms operate in the northwestern part of the state of Mato Grosso were chosen for their different operating modes: the Fazenda São Nicolau, in the Cotriguaçu community, where a reforestation policy was designed, the Fazenda Preciosa (representing the traditional agricultural model) and the Assentamento Vale do Amanhecer (recent deployment system based on the division of land among smallholders, with each having an operating strategy) in the of Jurueña community. Therefore, detailed studies were developed through a regional soil mapping at scale 1: 100,000 in association with relief, hydrographic network, the geological substratum, climate changes, the vegetation and soils, and following the methodology and the techniques based on established organizational charts for these jobs. All this, in addition to mapping data about the physical partitions of these areas by remote sensing. Thus were carried out some analysis: the physical and chemical analysis, of the fluorescence spectrometry X-rays, the diffraction of X-rays, the geochemical environments - statistical analyzes as well as calculate the densities of the sampled soils in a geochemical context for Determination of the elements are associated with the carbon and organic matter. Studies on land use were also conducted. The Results show a range of carbon stock values between 0.01 and 8.89 kg / m² distributed among diverse class of soil and selected for placement. Mappings of carbon stock classes allowed confront them with the land and the textural classes. The best correlations between carbon storage classes and certain types of high forest and carbon stock between the classes and the clayey textures were possible to find out that were found. Thus no way to land use seems to have a radical impact on carbon stocks; the cultural and historical practices of each farm better explain the results. This physicochemical approach primarily aimed at identifying the regions studied the soil types in their compositions that have higher levels of organic matter and nutrients where carbon storage is more assured. The results that were obtained in this research, lead us to propose a new model of studies to put into practice new ideas about REDD, as well as the organization's data of carbon storage in these different areas studied, which can be applied in other regions and objective interpretations that will of course be obtained in this body of work.

Key words: State of Mato Grosso, Cotriguaçu, Jurueña, carbon storage, REDD, soils, organic matter.

Resumo

As mudanças de uso da terra alteraram o potencial de estocagem do carbono no solo. O desmatamento e as técnicas agrícolas têm um impacto significativo sobre o ciclo global do carbono e contribuem para as emissões de gases de efeito estufa. O principal objetivo desta tese é de destacar as ligações entre a estocagem de carbono, o uso da terra e a dinâmica desenvolvida. Para este estudo, foram utilizadas imagens de satélite ao longo do período entre 1987–2011, para classificar os tipos de ocupações de terra. Na verdade, não é apenas para determinar a quantidade de carbono no solo, mas também para verificar a ligação entre a quantidade de carbono e a gestão de terras em diferentes propriedades. As explorações se operam na parte noroeste do Estado de Mato Grosso e foram escolhidas por seus diferentes modos de operação: a Fazenda São Nicolau, no município de Cotriguaçu, onde uma política de reflorestação foi idealizada, a Fazenda Preciosa (representando o modelo de agropecuária tradicional) e o Assentamento Vale do Amanhecer (sistema recente de implantação baseado na divisão da terra entre os pequenos proprietários, com cada um tendo uma estratégia de operação) no município de Juruena. Os resultados mostram uma gama de valores do estoque de carbono compreendido entre 0,01 e 8,89 kg/m² distribuídos entre as classes diversificadas de solos e seleccionadas para ocupação. Um mapeamento de classes de estoque de carbono permitiu confrontá-los com a terra e as classes texturais. Foi possível descobrir que foram encontradas as melhores correlações entre o estoque de classes carbono e certos tipos de floresta alta e estoque entre as classes de carbono e as texturas argilosas. Desta forma nenhuma maneira de uso da terra parece ter um impacto radical sobre os estoques de carbono. Estas são as práticas culturais e históricas de cada fazenda para melhor explicar os resultados. Esta aproximação físico-química visou principalmente a identificação nas regiões estudadas dos tipos de solos nas suas composições que possuem níveis mais elevados de matéria orgânica e os elementos nutritivos onde a estocagem de carbono é mais assegurada. Portanto, foram desenvolvidos estudos aprofundados, através de uma cartografia pedológica regional na escala de 1:100.000, em associação com o relevo, a rede hidrográfica, o substrato geológico, as trocas climáticas, a cobertura vegetal e os solos, e após a metodologia e as técnicas empregadas baseadas em organogramas estabelecidos para estes trabalhos. Tudo isso, paralelamente à cartografia de dados acerca das partições físicas destes domínios pela teledetecção. Desta forma foram realizadas algumas análises: as análises físico-químicas, da espectrometria pela fluorescência dos raios X, pela difração dos raios X, dos ambientes geoquímicos – análises estatísticas, assim como, o cálculo das densidades dos solos amostrados, num contexto geoquímico para a determinação dos elementos que estão associados ao carbono e a matéria orgânica. Estudos acerca do uso do solos foram também realizados. Os resultados que foram obtidos neste conjunto de pesquisas, nos conduzem a propor um novo modelo de estudos para colocar em prática as novas ideias acerca do REDD, e também pelos dados da organização da estocagem de carbono, nessas distintas áreas estudadas, que podem ser aplicados em outras regiões e nas interpretações objetivas que serão evidentemente obtidas deste conjunto de trabalhos.

Palavras Chaves: Estado de Mato Grosso, Cotriguaçu, Juruena, estocagem de carbono, REDD, solos, matéria orgânica.

Introduction Générale

Introduction Générale

Contexte

Le troisième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur les Changements Climatiques (IPCC, 2001), a mis en évidence que les changements sont le résultat tant de la variabilité interne du système climatique que de facteurs externes naturels et anthropogéniques (Machado, 2004). Ainsi, entre 1861 et 2000 la température moyenne mondiale a augmenté de 0,6°C. Ces changements selon Garrity and Fisher (2001), se sont accompagnées de pluies plus torrentielles et le phénomène « El Niño » est devenu plus fréquent et intense. L'usage croissant des combustibles fossiles et les changements à grande échelle de l'usage des terres se sont traduits par l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère en affectant le climat mondial (Baede *et al.* 2001).

Les GES les plus importants sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et les chlorofluorocarbones [CFC's (CF_xCl_x)]. Du point de vue sectoriel, dans les pays développés, les principaux émetteurs de CO₂ sont l'industrie, le transport, la production d'électricité et le secteur résidentiel (IDD, 2003). La combustion des énergies fossiles constitue donc l'un des vecteurs d'émission des gaz à effet de serre (EGES) les plus importants. Cependant, dans les pays du Sud, et notamment au Brésil, les changements d'utilisation des sols et la déforestation sont les principaux contributeurs aux EGES. Selon Fearnside (1997b), la déforestation au Brésil est la première source d'émission de carbone (entre 150 et 250 millions de tonnes de carbone par an contre 75 millions de tonnes pour la combustion d'hydrocarbures).

L'Amazonie Brésilienne est associée au processus d'EGES après les années 1970 en relation avec la déforestation qui s'est intensifiée du fait de la colonisation principalement avec les populations venues du Sud du Brésil (Le Borgne-David, 1998). Le développement et l'intégration au territoire national ont contribué énormément aux transformations radicales de l'espace et des paysages de l'Amazonie mais aussi largement contribué à l'effet de serre. Cette croissance économique dans la région a été accompagnée par un développement urbain important. De nombreuses villes ont été fondées et de nombreuses petites communes, se sont développées. Cette transformation des paysages s'accompagne aussi de modifications profondes sur la composition et la structure des sols (Le Tourneau, 2004 ; Droulers, 2004 ; Nédélec, 2005 ; Dubreuil, 2005 ; Théry, 2005 ; Sartre, 2006 ; Delahaye 2009a et Delahaye 2009b). Ainsi, les sols défrichés perdent rapidement leur matière organique et les micro-organismes d'origine et ils deviennent stériles, laissant les producteurs locaux sans aucun moyen de récupérer la fertilité initiale (Grimaldi *et al.* 1993 ; Fearnside *et al.* 2009). Selon les mêmes auteurs, les sols de l'Amazonie sont principalement composés d'argile ou de sable, avec une faible teneur en matière organique. Toute la diversité végétale est maintenue grâce à une mince couche de nutriments fournis par la biomasse forestière (feuilles, brindilles et fruits en sénescence), alliée à un régime pluviométrique favorable et aux micro-organismes qui peuplent le sol.

En conséquence, les transformations d'usage des sols suscitent beaucoup d'attention dans l'optique de limiter les EGES. Les travaux de synthèse bibliographique montrent que ce thème est actuellement un enjeu majeur de préservation de l'environnement et une préoccupation croissante pour assurer le maintien des services écosystémiques des sols (Oszwald *et al.* 2014) et promouvoir un développement durable des territoires (Delahaye *et al.* 2009).

Le Développement Durable, selon la Commission Mondiale sur l'Environnement et Développement (CMMAD) de L'ONU, est « *le développement capable de subvenir aux besoins de la génération actuelle, sans compromettre les besoins des futures générations. Il s'agit d'un développement qui n'épuise pas les ressources pour le futur* ». Aujourd'hui, un défi pour les entreprises et les collectivités est de mettre en pratique cette notion qui a émergée à la fin de la décennie 1980 (Davidovich, 1993). Là où l'industrie a généré le développement économique selon Bursztyn (2001), les forêts ont été dévastées, le sol appauvri, les gisements minéraux se sont épuisés. Le développement n'a pas été durable, à la lumière de nos horizons de perceptions actuelles.

Selon Parker *et al.* (2009) l'idée de base est que les pays développés doivent aider à la préservation des forêts des pays en développement. Un mécanisme connu actuellement comme REDD – Réduction des Emissions par Déforestation et Dégradation - permettrait d'établir une valeur pour le carbone qui puisse permettre la conservation des forêts. L'émergence de l'adoption du programme REDD et son inscription dans les négociations internationales sur la lutte contre le changement climatique ont conduit à considérer les forêts tropicales comme un enjeu et comme un instrument pour réduire les EGES en vue d'atténuer le changement climatique. Au Brésil, et en Amazonie notamment, cette transformation a suscité l'essor de nombreux projets REDD (Demaze, 2012, 2013).

Problématique et objectifs

La déforestation et les techniques utilisées dans le travail du sol ont un impact significatif sur le cycle global du carbone, augmentant notamment les taux de CO₂ dans l'atmosphère. La couverture forestière est considérée comme la plus favorable au stockage de carbone que l'on va trouver dans sa biomasse et dans le sol sous-jacent. Dans les régions amazoniennes, différents systèmes d'exploitation des ressources existent (forêts, pâturages, agriculture) et le problème est de savoir comment maintenir un stock de carbone satisfaisant tout en conservant une activité économique. L'agroforesterie est considérée comme une solution possible. Cependant, il existe de nombreuses formes comme les reforestations, l'enrichissement de « capoeira », les cultures sous couvert forestier, l'élevage sous couvert arboré. Dans le même temps, les caractéristiques du sol, naturelles ou modifiées par l'exploitation, interviennent dans les capacités de stockage. La texture du sol influe sur les capacités de stockage de carbone issu de la décomposition de la matière organique et dépend également de la couverture végétale et de son évolution, ainsi que des techniques de travail du sol.

L'objectif principal de cette thèse est donc de mettre en évidence les liens entre l'occupation des sols et leur usage dans le temps en utilisant les images de satellites sur la période 1987-2011 et les caractéristiques des sols, leurs teneurs en matière organique et carbone dans trois fermes dont l'historique et les modes d'exploitation sont différents. Il ne s'agit donc pas uniquement de déterminer la quantité du carbone dans les sols dans les fermes étudiées mais également de vérifier le lien entre quantité de carbone dans le sol et son utilisation et de comprendre comment les techniques utilisées dans une exploitation agricole peuvent influencer la teneur en carbone du sol. L'hypothèse de travail est que les changements d'utilisation des terres modifient les potentiels de stockage du carbone dans le sol et que la déforestation et les techniques utilisées dans le sol ont un impact significatif sur le cycle global du carbone, augmentant ainsi les taux de CO₂ atmosphérique. Il s'agit donc de quantifier le carbone du sol dans ces trois exploitations différentes, dans le contexte de la politique de réduction des EGES générées par la déforestation et la dégradation des forêts.

Cette recherche s'inscrit dans le cadre de l'article 35 de l'Agenda 21 (Brasil. MMA. 1997) qui invite à « mettre au point et appliquer de nouveaux outils analytiques et prévisionnels permettant d'étudier avec plus de précision l'influence croissante de l'intervention de l'homme (...) et des tendances démographiques sur les systèmes naturels de la Terre, et de mesurer les effets et les conséquences de cette intervention et de cette dynamique ».

Sites d'études et méthodologie

Cette thèse présente les résultats d'études qui ont été menées dans la partie Nord-ouest de l'Etat du Mato Grosso (Région Centre-Ouest du Brésil), entre les coordonnées géographiques de latitudes 7° à 18° Sud et longitudes 50° à 62° Ouest de Greenwich. Les altitudes de cette région varient de 190 à 300 mètres (Figure 0.1).

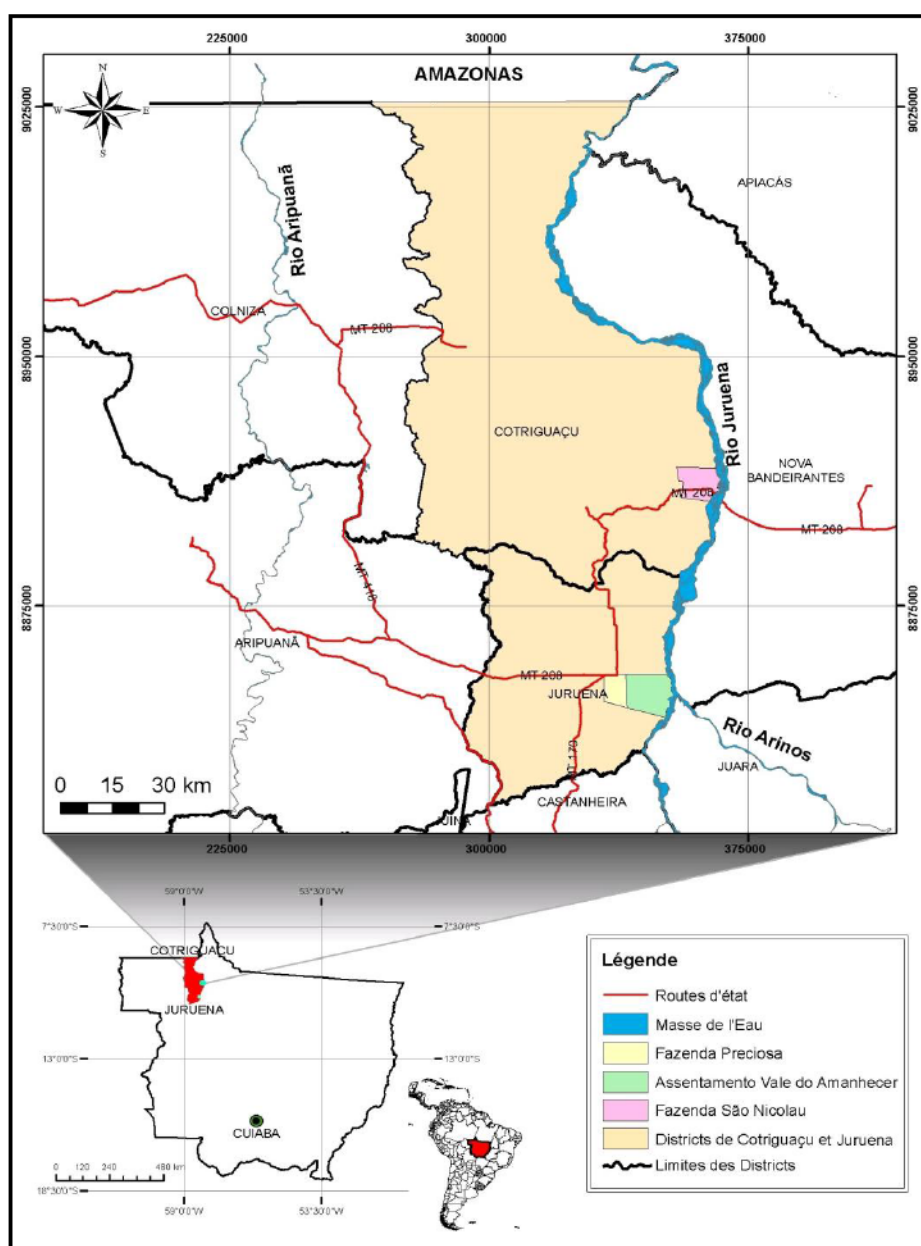


Figure 0.1. Carte de localisation des exploitations d'études dans les communes de Cotriguaçu et Juruena à l'État de Mato Grosso, Brésil. (Elaborée par L.-A. Nascimento, mars/2013).

Les exploitations retenues sont au Nord, la Fazenda São Nicolau sur la commune de Cotriguaçu, et au Sud la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer sur la commune de Juruena. Elles ont été choisies pour leurs modes d'exploitation différents. Sur la Fazenda São Nicolau, une politique de reforestation a été menée. La Fazenda Preciosa représente le modèle traditionnel d'élevage tandis que l'Assentamento Vale do Amanhecer, d'implantation récente, est un système fondé sur le partage des terres entre petits propriétaires ayant chacun une stratégie d'exploitation.

Sur chacune de ces trois exploitations, nous avons réalisé une première étude sur des images satellites permettant les premières interprétations et la localisation des points d'échantillonnage en fonction de l'occupation des sols. Deux campagnes de terrain en 2012 et 2013 ont été menées pour effectuer les prélèvements de sols, les observations sur l'occupation des sols et mener des discussions avec les exploitants. Ces études ont permis une première comparaison des usages et occupations des sols entre les images satellites et la réalité sur le terrain. Pour chacune de ces exploitations, nous avons également établi une chronologie de la dynamique de l'évolution de l'occupation du sol au moyen d'images satellites Landsat TM à différentes dates d'acquisition.

Ainsi, le thème de la thèse concerne le stockage du carbone dans les sols et dynamique des paysages en Amazonie : l'exemple du Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso – Brésil dans le cadre du REDD. Il participe aux études sur le développement durable et environnemental en association avec des données géographiques, socio-économiques, nécessaires pour comprendre la dynamique et les enjeux liés au stockage de carbone, et ses relations avec la matière organique des sols.

Plan, organisation de la thèse

La première partie présente des données bibliographiques sur le cycle du carbone et le stockage du carbone dans le monde et au Brésil. Ensuite, est exposée la mise en place du mécanisme REDD, en relation avec une série d'études et de mesures qui sont adoptées actuellement dans le monde et au Brésil. Enfin, dans cette partie, nous présentons notre démarche méthodologique et nous décrivons les techniques utilisées pour ces recherches, que ce soit les travaux menés sur le terrain, à l'UFMT de Sinop et Cuiabá ou encore la réalisation des cartes et des traitements de données et d'images effectués au Laboratoire COSTEL à l'Université Rennes 2, en France.

La deuxième partie se rapporte au cadre géographique, en insistant sur la topographie des sites d'études, le substrat géologique, le climat, la couverture végétale et les sols de chacun d'eux. Puis on présente des données sur les dynamiques de l'utilisation du sol dans les exploitations, avec des classifications des types de couverture végétale et leur dynamique entre les années 1987 et 2011. Ces résultats sont essentiels dans la perspective de l'établissement futur d'une planification organisée et dirigée vers le développement durable de cette région.

La troisième partie a comme objectif de caractériser les propriétés physico-chimiques des sols et notamment la texture des trois exploitations étudiées ainsi que de mettre en relation le carbone et les différents paramètres du sol. Nous montrons ensuite la distribution des stocks de carbone pour chaque secteur d'étude. Parmi les résultats, nous présentons les croisements des données entre le stockage du carbone, les textures et les types d'occupation du sol.

Partie 1

Le stockage du carbone : enjeux, contexte et méthodes.

Introduction de la Partie 1.

Chapitre 1. Le carbone et le stockage du carbone.

Chapitre 2. Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone.

Chapitre 3. Les méthodes et techniques.

Conclusion de la Partie 1

Introduction de la Partie 1

Avant la révolution industrielle, la déforestation et les feux ont été les principales causes de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère, mais aujourd'hui outre ces deux facteurs, il y a la combustion du carbone fossile et l'industrie des transports qui contribuent à l'augmentation des EGES (IDD, 2003). Parmi les GES dont les concentrations augmentent, le CO₂, le CH₄ et le N₂O sont les plus importants. Le CO₂ contribue plus au réchauffement car représente au moins 55 % de la totalité des émissions mondiales des GES. Le temps de sa permanence dans l'atmosphère est au minimum de 100 ans avec des impacts sur le climat pendant des siècles. Aujourd'hui, la quantité de méthane émise est inférieure cependant son potentiel de réchauffement est 21 fois supérieure à celui du CO₂. Dans le cas de l'oxyde nitreux et des chlorofluorocarbures, leurs concentrations sont encore plus faibles, mais leur impact sur l'effet de serre est respectivement de 310 et 6.200 – 7.100 fois supérieures à celui du CO₂ (Neale, 2008).

Selon le *World Resources Institute* (2005), les EGES du Brésil représentent environ 2,5 % des émissions mondiales totales. La plupart de ces émissions (2/3) provient des activités de changement d'utilisation des terres comme la déforestation (remplacement de forêts par l'implantation des cultures) et les feux (Souza, 2007). Selon l'IBGE (2010), le nombre de brûlages et de feux de forêts ont diminué de 63 % entre 2007 et 2009. Même avec cette réduction, ils représentent 75 % des émissions du gaz carbonique au Brésil et les opérations de brûlage liées à la gestion agricole représentent à eux seuls 57,9 % des émissions.

Les forêts, les systèmes agro-forestiers et les sols peuvent fonctionner à la fois en tant que réservoirs et comme source de carbone en fonction des modes de gestion, des finalités de la production. Les forêts servent de réservoirs lorsque les plantes absorbent le carbone de l'atmosphère par la photosynthèse, le conservant dans la biomasse, en particulier sous forme de bois (Arevalo *et al.* 2002). Pendant les brûlages des arbres, le processus est inversé, avec la consommation encore d'oxygène de l'air dans le processus de combustion et libération du carbone retenue dans le bois (Houghton *et al.* 2009).

Cette première partie présente tout d'abord le l'étude bibliographique, avec initialement une description sur le carbone et son cycle. Ensuite on présente quelques propriétés du carbone, en fonction de son association avec la matière organique. On présente aussi les premiers résultats obtenus sur les recherches liées au stockage du carbone, avec des exemples de travaux dans le monde et au Brésil.

Dans le second chapitre sont exposés les travaux et les idées sur le mécanisme REDD, en relation avec une série d'études et de mesures qui sont adoptées actuellement dans le monde et au Brésil pour son application. A la fin nous présentons une description sur les contextes méthodologiques et techniques employés et utilisés, tant à partir des volets agricoles, comme dans les volets pédologiques.

Chapitre 1

Le carbone et le stockage du carbone

Chapitre 1 – Le carbone et le stockage du carbone

Introduction du chapitre 1

La fixation du carbone intervient dans le cycle du carbone – dont elle constitue une partie. Selon le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) le cycle du carbone est le terme utilisé pour décrire les échanges de carbone (sous diverses formes, le gaz carbonique, par exemple) entre l'atmosphère, les océans, la biosphère terrestre et les dépôts géologiques, ou encore les échanges entre réservoirs. Selon la FAO (2002), les sols agricoles sont les plus grands réservoirs de carbone; ils disposent d'un important potentiel de fixation du carbone et constituent donc une perspective intéressante pour réduire une concentration de plus en plus importante de CO₂ dans l'atmosphère. Les sols peuvent fixer environ 20 Pg de carbone en 25 ans, c'est-à-dire, 10 % de plus que les émissions liées aux activités humaines.

Les émissions correspondant au changement de l'utilisation du sol ont été estimées par Houghton (2009) (déboisement et augmentation des pâturages et des terres cultivées) comme étaient autour de 120 Pg de 1850 à 1990 (de 0,4 Pg/an en 1850 à 1,7 Pg/an en 1990), avec un dégagement net à l'atmosphère de 25 Pg. Selon l'IPCC (2000), la perte historique provenant des sols agricoles était de 50 Pg de carbone pour le dernier demi-siècle, ce qui représente un tiers de la perte totale provenant du sol et de la végétation.

L'action humaine a perturbé l'équilibre du cycle long ou rapide du carbone. Pour répondre à des besoins grandissants en énergie, les hommes sont allés puiser dans les ressources fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) et les ont brûlés en grandes quantités, émettant d'immenses quantités de carbone vers l'atmosphère. Le recours massif aux énergies fossiles a en quelque sorte court-circuité le cycle naturel du carbone : les stocks de carbone fossile qui normalement auraient dû se dégrader au rythme de leur reconstitution (lentement), sont actuellement consommés à l'échelle de temps de la vie humaine, c'est-à-dire très rapidement... sans que le rythme de leur reconstitution n'ait été accéléré. Cela pose deux problèmes : d'une part, l'épuisement de la ressource est inéluctable, puisqu'on la consomme bien plus vite qu'elle ne se forme. D'autre part, du carbone est envoyé dans l'atmosphère à une vitesse telle qu'il ne peut que s'y accumuler... d'où l'impact sur le climat.

1.1. Le cycle du carbone

Il existe deux formes de carbone, le carbone organique des organismes vivants et morts, et le carbone minéral des roches. Le carbone effectue un grand cycle biogéochimique au travers de la terre, des océans, de l'atmosphère et du monde vivant (Figure 1.1). Ce cycle est divisé en deux types : le cycle « lent » ou géologique, et le cycle « rapide » ou biologique (Walter *et al.* 2011). Le cycle géologique fonctionne à une échelle de millions d'années et il est intégré dans la structure de la planète et a commencé il y a environ 4,55 milliards d'années lors de la formation du système solaire et de la Terre. Plus de 99 % du carbone terrestre est contenu dans la lithosphère, le carbone minéral étant surtout stocké dans les roches sédimentaires comme le calcaire. Le carbone organique contenu dans la lithosphère est stocké dans des dépôts de combustibles fossiles.

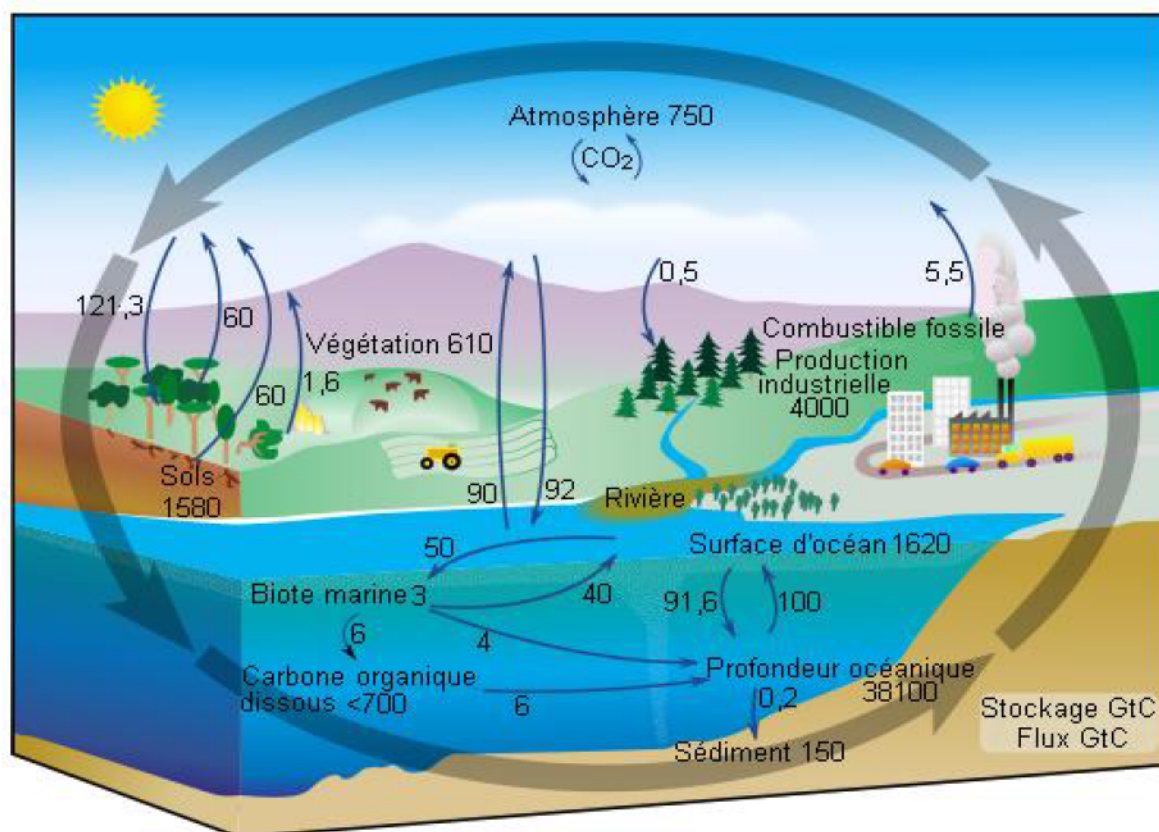


Figure 1.1. Esquisse du Cycle du Carbone (d'après Harrison in IPCC– Intergovernmental Panel Climate Change, 2003).

Le cycle biologique du carbone est rapide. On estime que le renouvellement du carbone atmosphérique a lieu tous les 20 ans. En l'absence d'influence d'interventions humaines, il y a trois réservoirs ou stocks répartis comme suit : le réservoir terrestre (20.000 giga tonnes - Gt), le réservoir atmosphérique (750 Gt), le réservoir océanique (40.000 Gt). Le cycle biologique joue un rôle important dans les flux entre les différents stocks de carbone, au travers des processus de la photosynthèse et de la respiration notamment (Walter *et al.* 2011 ; Pansu, 2006).

Dans l'écosystème terrestre, le sol constitue le plus grand réservoir de carbone allant de 1200 à 1600 petagrammes (Pg) selon Bruce *et al.* (1999). La dynamique du CO₂ dans le sol est contrôlée par le bilan entre son entrée, via la photosynthèse et le stockage de la matière organique brute et sa sortie via la minéralisation de la matière organique. Compte tenu de ce fonctionnement, le sol joue le rôle de source ou de drain du C et du CO₂ vers l'atmosphère (Lal *et al.* 1995). La compréhension de la dynamique du flux de CO₂ du sol est fondamentale pour comprendre la participation du sol dans le bilan carbone. (Lal *et al.* 1995). Dans un écosystème comme la forêt amazonienne, la relation entre le stock et le flux de carbone est directement liée, soit s'il y a une augmentation du stock dans la biomasse et le carbone atmosphérique diminue, soit l'inverse (Figure 1.2).

Raich et Schlesinger (1992) ont essayé de définir le flux mondial annuel de CO₂ dans les sols en identifiant les incertitudes en relation avec l'influence de la température, des précipitations et de la végétation sur le taux de respiration du sol. Le flux annuel trouvé par ces auteurs a été estimé en moyenne de 68 Pg C/an, avec des variations entre les régions arides, semi-arides et tropicales.

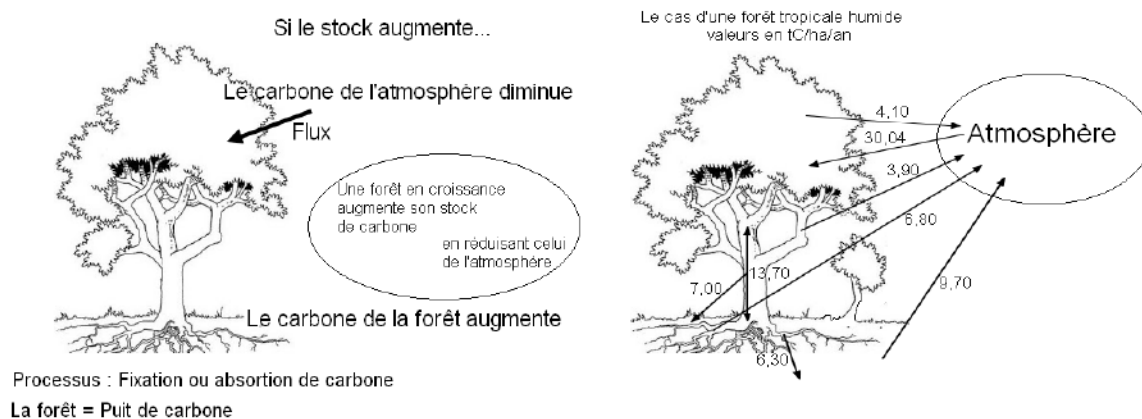


Figure 1.2. Exemples de flux et stocks de carbone dans la nature (D'après Locatelli, 2005).

1.2. Les enjeux du stockage du carbone

Le concept de stockage du carbone a été consacré par la Conférence de Kyoto en 1997 dans le but de contenir et d'inverser l'accumulation de CO_2 dans l'atmosphère afin de réduire l'effet de serre. La conservation des stocks de carbone dans les sols, les forêts et autres végétations, la préservation des forêts naturelles, la création de forêts, l'agroforesterie et la bonification des terres sont des actions qui contribuent à la réduction de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère. Les interventions humaines, telles que le recours aux combustibles fossiles et l'utilisation du calcaire dans l'industrie ainsi que les différentes utilisations des terres associées à la déforestation et aux feux de forêts constituent les principales causes de l'augmentation rapide des niveaux de CO_2 dans l'atmosphère, et par extension celles du « réchauffement planétaire ». Toutefois, les stocks de carbone les plus importants ne se trouvent pas dans l'atmosphère mais dans l'écosystème marin ou dans l'écosystème terrestre (Sotta *et al.* 2004).

Les études réalisées sur le stockage du carbone sont nombreuses. Parmi les premiers travaux, on peut citer ceux de Walkley et Black (1934). Ils ont utilisé une méthode pour la détermination de la matière organique, qui est utilisée jusqu'à aujourd'hui dans le monde entier. Callendar (1938) présente l'analyse de documents historiques qui constitue le premier document illustrant la tendance actuelle à la hausse des températures, estimant que la température mondiale s'était élevée d'environ $0,3^\circ\text{C}$ au cours des 50 années précédentes. Cet auteur a été le premier à associer cette augmentation des émissions de carbone aux activités humaines.

1.2.1. Le carbone dans la biomasse

Le stockage du carbone dans la biomasse, a été étudié par de nombreux auteurs parmi lesquels on peut citer tout d'abord Fearnside (1997) qui montre que le stockage du carbone peut être quantifié en estimant la biomasse végétale (Tito *et al.* 2009), au-dessus et dans le sol et le calcul effectué permet d'évaluer la quantité de carbone stocké dans les produits du bois et celle de CO_2 absorbée par la photosynthèse. Il convient de souligner que la biomasse constitue un important réservoir d'énergie car elle est constituée essentiellement par des hydrates de carbone.

Selon Escobar (2008), pour contribuer aux études de bilan énergétique et du cycle du carbone dans l'atmosphère, il est nécessaire de quantifier la biomasse de chaque composante de la végétation (troncs, branches, feuilles, racines, litière et matière organique du sol entre autres) pour évaluer leur teneur en carbone. La quantification du carbone fixé

dans la biomasse forestière selon Ribeiro (2007) constitue un outil pour créer des données primaires d'informations qui peuvent potentiellement être utilisés pour proposer des projets dans le MDP (Mécanisme de Développement Propre). Quelques considérations sont présentées par Tito *et al.* (2009) sur les puits ou sources de carbone de l'Amazonie, où il explique le cycle du carbone qui est fondé sur les échanges de carbone organique ou inorganique aux interfaces atmosphère – biosphère – lithosphère – hydrosphère.

Au Brésil, le Ministère de la Science et des Technologies (MCT) a mis en place en 2009 le premier inventaire national d'EGES qui souligne que la quantification de la biomasse du sol est complexe. Cette complexité est aussi reconnue par l'IPCC, (1997) et Higuchi *et al.* (2004). Nelson et Sommers (1982) et Von Mirbach (2003) estiment que la matière organique du sol contient environ 58 % de carbone. Ainsi, la détermination du Carbone Organique Total (COT) est utilisée pour estimer quantitativement la fraction organique du sol. Pour l'EMBRAPA/Solos (2000) et Chave *et al.* (2005), la matière organique du sol est l'un des plus grands réservoirs de carbone terrestre mais pour Kumada (1965), ces réservoirs dépendront également de la température. Selon cet auteur, les hautes températures peuvent affecter la quantité de carbone stocké dans la matière organique. Lal *et al.* (2004) considèrent également qu'un changement de température peut altérer le cycle du carbone dans le sol, la disponibilité de l'eau et altérer tout l'écosystème. En revanche, pour Kunonova (1966, 1982), la quantité de carbone dépend essentiellement de la quantité de matière organique apportée au sol.

Les forêts ont le potentiel d'absorber et emmagasiner dans leur biomasse vivante et morte, dans le sol un dixième des émissions globales de carbone prévues pour la première moitié de ce siècle (Miranda *et al.* 2012). La végétation forestière consomme du CO₂, incorporant le carbone dans les troncs, branches, feuilles et racines. Près de 50 % de la biomasse végétale sont constitués de carbone sous forme de cellulose, hémicellulose et autres polymères naturels. Ainsi à l'échelle mondiale, la forêt amazonienne possède le plus grand stock de carbone avec à peu près 120 tonnes de carbone par hectare sur une très grande superficie et avec une densité élevée de sa biomasse (IPAM, 2013). Les forêts tropicales humides sont caractérisées par un taux de productivité primaire élevé, par leur absorption considérable de carbone, principalement pendant la phase de croissance. Ces quantités sont réduites graduellement à des taux presque insignifiants lorsque les plantes sont devenues matures. Une jeune forêt, qui se développe à un rythme accéléré, stocke de grandes quantités de carbone par rapport à la forêt mature. Une jeune forêt possède un stock moins important de carbone qu'une forêt mature mais consomme plus de carbone atmosphérique au fil du temps (Sedjo, 2001). La forêt mature constitue un réservoir de carbone même si elle ne connaît pas une croissance nette, mais dans certains cas elle peut s'avérer être une source d'émissions de carbone lorsqu'il y a mort d'arbres âgés ou destruction massive de la forêt (Von Mirbach, 2003).

L'obtention d'estimations fiables de stockage de carbone par la végétation est essentielle pour estimer la quantité de carbone émise ou stockée dans le temps et l'espace selon Higuchi *et al.* (2004) dans un article sur la dynamique d'une forêt primaire en Amérique Centrale. Comme Philips *et al.* en 1998, ces mêmes auteurs ont constaté une augmentation annuelle de 1,2 t.ha⁻¹.ans⁻¹ de stockage de carbone. Dans leur étude, Fearnside et Guimarães (1996) ont conclu que ce sont les étapes initiales de la croissance de la biomasse qui connaissent les plus forts taux d'assimilation de CO₂ : une forêt secondaire de 10 ans d'âge assimile de 6,0 à 10,0 t.ha⁻¹.an⁻¹, à 20 ans d'âge l'assimilation de la forêt secondaire varie de 4,0 à 7,0 t.ha⁻¹.an⁻¹ et à 80 ans d'âge l'assimilation moyenne annuelle tombe à 2,0 t.ha⁻¹.an⁻¹. Dans le cas de forêts plantées d'eucalyptus de 7 et 10 ans d'âge, Paixão (2004) a présenté des valeurs moyennes de production de la biomasse de

troncs sans écorce égales à 107,12 t.ha⁻¹. Dans un inventaire de carbone dans des reboisements d'eucalyptus de 8 ans d'âge dans la région sud du Brésil, Schumacher et Witschoreck (2004) ont obtenu un stock de carbone égal à 97,86 t.ha⁻¹.

Dans la question de la gestion des forêts, les estimations du stock de carbone sont devenues chaque fois plus essentielles. L'obtention de telles estimations peut être réalisée par l'intermédiaire de deux méthodes, à savoir : la méthode directe (détermination) et la méthode indirecte (estimations). La première, aussi dénommée méthode destructive consiste à couper et peser l'arbre pour déterminer la biomasse. La méthode indirecte de la quantification de la biomasse est fondée sur l'utilisation des relations empiriques entre la biomasse et d'autres variables de l'arbre [Densité à Hauteur de Poitrine (DAP), hauteur totale, entre autres.]. Ces relations sont exprimées à l'aide de modèles statistiques (Higuchi *et al.* 2004).

1.2.2. Le carbone dans les sols

Selon Eswaran *et al.* (1993), le carbone stocké dans le sol est presque trois fois plus élevé que dans la biomasse aérienne et environ le double de celui présent dans l'atmosphère. Des estimations fiables sont difficiles à obtenir en raison de l'absence de données mondiales sur les types de sols et de la quantité de carbone dans chaque type de sol. Des bases de données plus complètes sont nécessaires afin de pouvoir établir des comparaisons fiables lors des études menées. Selon la FAO (2002) à l'échelle planétaire, 1576 Pg de carbone sont stockés dans le sol, avec 506 Pg (32 %) dans les sols tropicaux en estimant également que 40 % du carbone des sols dans les régions tropicales est dans les sols forestiers.

Selon Lal *et al.* (1997), les sols contiennent environ 3 à 4% de plus de carbone que le total contenu dans l'atmosphère et la biosphère, le sol étant le principal réservoir temporaire de carbone dans l'écosystème. Ces auteurs considèrent que la conversion des écosystèmes naturels forestiers en terres agricoles diminue le Carbone Organique du Sol (COS). Cerri *et al.* (2006). La méthode la plus communément appliquée selon la FAO (2002), consiste à déterminer le carbone organique total à différentes profondeurs dans un ou plusieurs horizons et à calculer le stock de carbone en tenant compte de la densité apparente du sol. Le résultat peut être exprimé en kg/m², t/ha ou Gt (Pg). Les résultats obtenus sur l'ensemble des échantillons doivent être regroupés dans des bases de données afin de déterminer les réserves globales de carbone.

Il existe des recherches importantes concernant l'évaluation des stocks de carbone du sol au niveau mondial. Sombroek *et al.* (1993) ont utilisé la carte FAO/Unesco des sols du monde à l'échelle 1/5.000.000 et environ 400 profils de sols regroupés selon la classification FAO avec détermination des fourchettes et des moyennes de teneurs en carbone et densité pour chaque unité de sol. Ils ont également estimé les stocks de carbone organique par type de sol et le stock au niveau mondial. Selon Bernoux *et al.* (2005), le Brésil précolombien stockait 36.400 millions de tonnes dans les premiers 30 centimètres des sols ; en 1995, ces stocks étaient réduits à 34.400 millions de tonnes. Entre 1990 et 2000, les pertes annuelles dues aux changements d'affectation des terres, à leur gestion et au chaulage totalisaient en moyenne 7,2 millions de tonnes de carbone par an. Verneyre (2007), dans des études développées sur la Fazenda São Nicolau, a trouvé des résultats qui donnent un stock moyen de carbone sur les trente premiers centimètres de 3,65 kg/m² avec la méthode Walkley et Black (1934) et de 4,80 kg/m² avec la méthode NIRS (*Near Infra-Red Spectroscopy*) ou spectroscopie proche infrarouge (SPIR) ; cette dernière méthode selon Fontanelli *et al.* (2002), constitue un outil d'analyse indispensable à la connaissance,

au suivi et à la cartographie de la variation du stockage du carbone dans le sol, car il s'agit d'une technique d'analyse plus rapide que les méthodes traditionnelles, non destructrice et à faible coût. La méthode NIRS a également été utilisée par Moreira (2008) sur les pâturages de la Fazenda São Nicolau où il a trouvé une valeur moyenne de 5,27 kg de carbone / m².

De nombreuses recherches sur le carbone dans le sol en Amazonie ont été menées. Cox *et al.* (2000) et Friedlingstein *et al.* (2006) considèrent que dans le bassin amazonien des incertitudes existent sur l'ampleur des changements de stock de carbone dans le sol sur les superficies actuellement sous forêts naturelles en cas de changement climatique et d'augmentation du CO₂. Les futurs changements dans la couverture végétale ou dans l'usage du sol imposent des limites à notre capacité à estimer les futurs échanges entre les stocks de carbone de l'écosystème et le CO₂ atmosphérique.

Pour que les rentrées de carbone dans le système dépassent les taux d'augmentation de la décomposition ou de la mortalité, des modèles de la dynamique du carbone indiquent que les conditions de grande productivité de matière organique de la forêt doivent rester permanentes et ainsi constituer un puits de carbone localisé dans la végétation et les sols (Batjes, 1999). Par exemple, Chambers *et al.* (2001a) ont utilisé un modèle de croissance et mortalité d'espèces arborées considérées individuellement. Ils ont évalué la croissance à 25 % de productivité pendant une période de 50 ans (soit une augmentation de 0,25 % /an) pour estimer le taux maximal de stock de carbone. Le résultat obtenu a été de 0,5 t. ha⁻¹ an⁻¹ de carbone sous forme de biomasse ligneuse sur la période pendant laquelle a été appliquée l'étude. Telles *et al.* (2003) ont utilisé le même scénario : en supposant que toutes les rentrées de matière organique augmenteraient et que les taux de décomposition resteraient constants, ils ont montré que les taux d'accumulation de carbone nets dans le sol ne seraient que d'à peu près 0,1 t. ha⁻¹ an⁻¹ de carbone sur 40 cm de l'horizon supérieur du sol. Selon Trumbore *et al.* (1995), ce taux pourrait être potentiellement doublé, si on tenait compte de la productivité des racines en dessous de 40 cm de profondeur. Donc, la prévision générale pour le taux de stockage du carbone serait de l'ordre de 0,7 t. ha⁻¹ a⁻¹, avec la majeure partie du stock de carbone dans la biomasse dans le sol.

1.2.3. Le carbone et l'occupation des sols

Quelques modèles permettent la généralisation spatiale ou la simulation du comportement du carbone du sol en fonction des changements de l'utilisation du sol (Arrouays *et al.* 1999). Aux États-Unis, deux modèles sont communément utilisés, le Century et le DNDC (Dénitrification et Décomposition). Le DNDC sert à simuler les EGES, il peut servir aussi d'outil approximatif pour représenter les variations en Matière Organique du Sol (MOS) advenant des pratiques agricoles (Arrouays *et al.* 1999).

Un modèle français a été mis au point par Arrouays et Pélissier (1994) dans le but de prévoir l'effet de l'utilisation des terres sur la dynamique du carbone. Ce modèle dénommé Morgane prend en compte différents compartiments organiques. Il a été testé dans différentes régions tropicales (Antilles, Brésil). Une comparaison entre 9 modèles différents utilisant les données des expérimentations de longue durée a été faite dans les régions tempérées et ensuite appliquée par Smith *et al.* (1997) aux régions tropicales. Ces modèles peuvent être également utilisés pour simuler les effets du changement climatique (Paustian *et al.* 1998b).

Martin Neto *et al.* (2005) caractérisent l'agriculture en tant que contributeur aux émissions ou au stockage de carbone, en fonction de la gestion adoptée. Les estimations réalisées par plusieurs chercheurs brésiliens mettent en évidence que les sols sur plantation

directe en climat tropical et subtropical peuvent stocker en moyenne 0,5 à 0,6 tonnes de carbone/ha/an. Six *et al.* (2000) ont confirmé que l'agriculture est une cause majeure de l'appauvrissement de la matière organique et de la réduction de la stabilité du sol. Les systèmes de plantation directe de cultures présentent généralement une augmentation de l'agrégation du sol et de la matière organique par rapport à la gestion conventionnelle. Cependant, l'importance de la transformation de la matière organique du sol dans le cadre d'une gestion conventionnelle varie d'un sol à l'autre. Selon Laurent *et al.* (2011) et Laurent (2012), le non-labour du sol, les cultures intermédiaires et la rotation de cultures sont les principes de l'agriculture de conservation et cette pratique peuvent aider à la conservation et augmentation du carbone dans le sol.

Pour Paustian *et al.* (2000), il est nécessaire d'avoir une bonne gestion des terres arables pour qu'il y ait un équilibre entre le flux et le stockage de carbone. Batjes (1996) et Holtz et Mota (1995) considèrent que le sol est important dans le stockage du CO₂ atmosphérique et que les changements d'utilisation des terres et la conversion des forêts en zones agricoles sont les responsables de la plupart des émissions de carbone.

Une amélioration de la gestion des terres arables a été proposée pour Wander (2004), pour assurer une productivité accrue des systèmes agricoles existants afin de maintenir les matières organiques du sol rendant inutiles de nouveaux défrichements. Dans une étude réalisée sur des « Capoeiras », Sampaio (2008) a conclu que le stock trouvé dans la litière sans fertilisation est 18 fois plus grand que le stock trouvé dans les déchets laissés après brûlis de la végétation.

Une évaluation du stock de carbone dans les sols sous pâturages, a été réalisée par Rosa *et al.* (2014) dans le bassin du Rio Paranaíba à l'État de Minas Gerais. Selon ces auteurs, la teneur de carbone diminue avec la profondeur du sol indépendamment des conditions du pâturage. En moyenne, dans tous les pâturages analysés, le pâturage « amélioré » présente une valeur plus élevée de carbone (68,28 t. /ha) par rapport au pâturage dégradé (59,35 t. /ha).

Les Systèmes Agroforestier (SAFs) sont considérés, selon Santos (2008), comme un système favorisant l'existence d'un réservoir efficace de CO₂ et doivent être considérés comme un mode de ressource renouvelable, ainsi que susceptibles de permettre la récupération des sols dégradés. L'adoption de systèmes d'utilisation des terres, tels que les agro-systèmes, les systèmes sylvicoles et/ou l'agroforesterie bien gérés (Tito *et al.* 2011), peuvent stocker jusqu'à 228 t. /ha de carbone par an.

Quelques considérations sont présentées comme une contribution préliminaire par Nascimento *et al.* (2013), par la connaissance sur le stockage du carbone dans les communes de Cotriguaçu et Juruena, situées dans la partie Nord-ouest de l'Etat de Mato Grosso, à partir de ses premiers résultats obtenus régionalement.

1.2.4. Le carbone et la texture des sols

La matière organique et les organismes vivants associés jouent un rôle dans l'agrégation du sol à différentes échelles de son organisation (Tisdall et Oades, 1982 ; Robert et Chenu, 1991 ; Fearnside et Barbosa, 1998). Les processus d'agrégation et le stockage du carbone sont fortement associés (Golchin *et al.* 1994 ; Angers et Chenu, 1998). Dans les sols tropicaux, qui contiennent de l'argile à très faible capacité d'échange, la matière organique est importante car la capacité d'échange des cations augmente en général avec l'augmentation de la matière organique. Le stock de carbone est relié à des

propriétés intrinsèques du sol, telles la texture, la structure, la géochimie et la minéralogie (Resck *et al.* 2008 ; Castro, 2008 ; Rufino, 2009).

Les principaux facteurs qui expliquent le comportement du carbone dans le sol sont : le climat (températures et précipitations), la texture et la roche mère du sol qui détermine le contenu et le type de minéraux d'argile, les facteurs biotiques comme le type de couverture végétale, l'activité microbienne (Resck *et al.* 2008 ; Monteiro, 2008). Les différences de stocks de carbone dans les sols sous une même végétation naturelle sont influencées fortement par la texture du sol. Les produits de décomposition de la matière organique sont retenus dans le sol en liaison avec la surface spécifique des particules du sol et donc les stocks de carbone dans des sols de texture fine (argileux) sont plus importants que dans ceux de texture sableuse. Monteiro (2008) souligne également l'importance de la gestion des terres dans le stockage du carbone.

Conclusion du chapitre 1

Les sols constituent une ressource naturelle qui remplit des fonctions majeures. La première est celle de production d'alimentation et de biomasse, et dans un contexte de pression démographique au niveau mondial, cette fonction donne toute son importance à la préservation des sols. Les sols jouent aussi un rôle majeur dans la régulation du climat. En effet, la quantité de carbone qui y est stockée (principalement dans les horizons de surface) est deux fois plus importante que celle présente dans l'air. Selon Arrouays *et al.* (2002), les sols mondiaux contiennent de l'ordre de 1.500 milliards de tonnes de carbone organique. Ainsi, une faible variation du stock de carbone dans le sol peut avoir des conséquences importantes sur la concentration en CO₂ de l'atmosphère. Par ailleurs, les matières organiques sont en constante évolution. Il ne s'agit donc pas d'un stock de carbone bien en place mais d'un système instable, répondant à des mécanismes complexes d'évolution qui ne sont pas encore tous connus. Des dérégulations peuvent d'autant plus intervenir en raison de cette complexité.

Le temps moyen de résidence du carbone dans les sols est très variable (de quelques années au siècle) et dépend principalement des conditions de température, de la teneur en argile dans le sol, de son humidité et du mode d'usage des terres.

Le carbone des sols est au cœur des conventions internationales, notamment celles sur le climat. En effet, le carbone du sol assure directement ou permet indirectement de nombreux services écosystémiques indispensables à nos sociétés. Les sols n'ont pas été jusqu'à présent la priorité en termes de lutte contre le réchauffement climatique du fait de nombreux points de blocage, en particulier concernant la mesure. Cependant on connaît les pratiques agricoles susceptibles d'accroître les stocks et l'on sait aussi que les quantités en jeux sont phénoménales: une variation très faible du stock contenu dans les 30 premiers centimètres des sols pourrait soit annuler le puits terrestre, soit permettre d'absorber l'accroissement annuel. Des changements dans l'usage des sols et dans les pratiques de production végétale peuvent y contribuer, en particulier en accroissant la durée de stockage du carbone organique dans les sols. Très variable, celle-ci dépend de la vitesse du processus de minéralisation par lequel le carbone organique est finalement restitué à l'atmosphère sous forme de CO₂. Il est donc important de connaître le potentiel offert par ce puits, selon les sols, leurs usages et les pratiques associées.

Pour l'application du Protocole de Kyoto, il est par ailleurs nécessaire de savoir comment et avec quelle précision ce puits pourrait être comptabilisé et quelle politique d'incitation pourrait induire un stockage additionnel.

Chapitre 2

Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone

Chapitre 2 – Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone

Introduction du chapitre 2

La préservation des forêts et la réduction des EGES ont le potentiel d'engendrer des co-bénéfices substantiels tels que les impacts positifs sur la biodiversité et la conservation des ressources en eau. La forêt conservée aide aussi à la stabilisation du régime des pluies et par conséquent du climat (Angelsen, 2008). Le rapport de l'IPCC (2007) a estimé l'accroissement des émissions de CO₂ par recul de la forêt dans les années 1990, comme représentant approximativement 20 % de la totalité des GES, et il a fait du changement de l'usage des sols, la seconde activité qui contribue le plus au réchauffement planétaire (Pádua, 2005 ; Dalla Corte, 2010). C'est dans ce contexte que sont apparus les projets *Réductions des Émissions par Déforestation et Dégradation*, ou REDD, qui visent à intégrer la gestion durable des forêts et leur conservation.

Le mécanisme vise également à être un moyen d'améliorer les conditions sociales et économiques de ceux qui dépendent de la forêt pour survivre : autochtones, riverains et colons agro-extractifs. De ce point de vue, le REDD est lié à la réduction de la déforestation, ainsi qu'à la perception de l'environnement par de nombreux groupes ethniques et sociaux (Cardoso, 2011). Un mécanisme REDD bien conçu est largement considéré comme une approche rentable pour, simultanément, conserver les forêts, réduire l'ampleur du changement climatique, protéger la biodiversité, promouvoir le développement durable, et maintenir les services écologiques importants fournis par les écosystèmes forestiers (Pinto *et al.* 2009 ; Demaze, 2012).

2.1. Le concept de REDD

Le REDD est un sigle anglais pour *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries*. Il comprend la rémunération des activités liées à la promotion de la conservation des forêts, la gestion durable et l'augmentation des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement (Micol *et al.* 2008 ; Painter, 2010). L'idée de base est que les pays développés doivent aider les pays en développement riches en forêts à la préservation de leurs forêts.

Le mécanisme élaboré à partir de ce concept permettrait d'établir une valeur pour le carbone qui puisse contribuer à la conservation de la forêt pour rivaliser financièrement avec les facteurs traditionnels de la déforestation comme la conversion agricole, l'exploitation du bois et le développement des infrastructures (Painter, 2010). Il s'agit d'un mécanisme de compensation financière pour les pays ou les communautés concernées pour préserver leurs forêts.

Le REDD est considéré comme un moyen essentiel pour réduire la quantité d'EGES dans l'atmosphère. Au cours de ces dernières années, le REDD est présent dans les discussions mondiales dans le cadre d'un accord sur le changement du climat. Au-delà du stockage du carbone, le REDD peut également créer des avantages significatifs, tels que la conservation de la biodiversité, la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la gouvernance forestière (Angelsen, 2008).

2.2. Le contexte du REDD

Le concept du REDD part de l'idée d'inclure dans la comptabilité des EGES, celles qui sont évitées par la réduction du déboisement et de la dégradation forestière. Il est né d'un partenariat entre chercheurs brésiliens et américains, qui est à l'origine d'une proposition connue sous l'expression de « *réduction compensée d'émissions* » (Santilli *et al.*, 2000). Elle a été présentée pendant la Conférence des Parties - 9 (COP) à Milan en Italie en 2003 par l'IPAM (Instituto de Pesquisas da Amazônia) et ses partenaires américains. Selon cette proposition, les pays en développement détenteurs de forêts tropicales qui obtiennent des diminutions de leurs émissions nationales par réduction de la déforestation recevraient une compensation financière internationale en fonction des émissions évitées. Le concept de réduction compensée est devenu la base de la discussion sur le REDD dans les années suivantes.

Ensuite, pendant la Conférence des Parties-COP-11 à Montréal au Canada (2005), un projet a été proposé par la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica. Dénommé « *Coalition of Rainforest Nations* », il présentait des propositions similaires à celles de REDD (Pinto *et al.* 2009). L'argumentation des deux propositions est que les pays tropicaux ont une responsabilité dans la stabilisation du climat par l'intermédiaire de la gestion de leurs forêts, et de ce fait les coûts pour les conserver doivent être partagés par tous. Ces initiatives ont fait que, officiellement, ces propositions furent incluses dans les négociations internationales au nom du projet REDD.

L'année suivante, dans la Conférence des Parties-COP-12 à Nairobi au Kenya (2006), le gouvernement brésilien a présenté une proposition pour traiter de la question du déboisement, très similaire aux précédentes, mais sans tenir compte du mécanisme du marché de crédits de carbone et fondée sur des dons volontaires, ce qui a été accepté. Il est essentiel de noter que ce mécanisme a été conçu à l'origine pour les pays en développement, qui ont des forêts tropicales, leur permettant de participer efficacement aux efforts mondiaux de réduction des EGES.

2.3. L'importance du REDD

Seymour *et al.* (2011) estiment que la déforestation est responsable de près de 20 % des émissions annuelles mondiales des GES. Pour la plupart des experts, le volume de ces émissions est comparable aux émissions de tous les pays de l'Union Européenne et au total émis au niveau mondial par le secteur des transports. La déforestation entraîne des émissions de CO₂, en effet, une quantité de carbone considérable est stockée dans les arbres et dans les sols des forêts tropicales et quand les arbres sont brûlés pour faire place à l'agriculture, le carbone retenu est libéré dans l'atmosphère sous forme de CO₂. Le Brésil est parmi les cinq plus grands émetteurs mondiaux de CO₂, sachant que 75 % des émissions sont issues des activités agricoles et pastorales, développées au détriment des forêts tropicales.

Selon l'IBGE (2012), le Brésil ne conserve qu'à peine 12 % de la superficie initiale de la forêt Atlantique, le biome plus dévasté du pays. Des 1,8 millions de km², il n'en reste que 149.700 km². Après la Forêt Atlantique, le *Pampa gaúcho* est la plus affecté : il a perdu 54 % de sa superficie. En 2010, le Cerrado ne représente plus que 49,1 % de sa superficie initiale. La Caatinga de son côté a perdu 45,6 % des 826.400 km² d'origine. Les données de l'INPE (2013), montrent que le déboisement dans l'Amazonie brésilienne est resté très important bien qu'inégal jusqu'en 2004 (Figure 2.1). Après cette date, on note une diminution de taux de déboisement. Malgré tout, 5.843 km² ont été déboisés d'août 2012

jusqu'à juillet 2013, un chiffre de 27,8 % supérieur à celui de l'année précédente, où 4.571 km² de zones déboisées ont été enregistrées.

« Si la mise en place d'une comptabilisation nationale des réductions des émissions et des augmentations de stocks de carbone est souhaitable à de nombreux égards, la question de l'opportunité de rémunérer directement des projets n'a pas été tranchée dans le cadre des négociations au sein du CCNUCC ». (Camel *et al.* 2010).

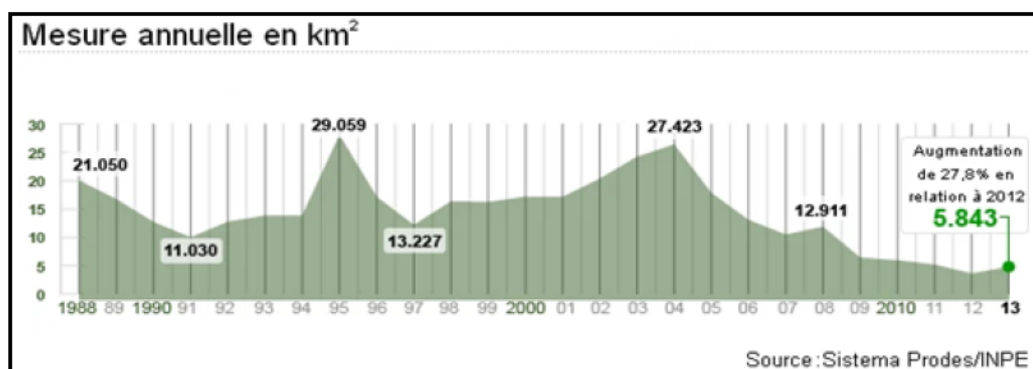


Figure 2.1. Le déboisement dans l'Amazonie brésilienne estimé par satellite.

Mais qu'ils soient rémunérés directement ou non, les projets joueront un rôle fondamental dans la mise en œuvre du mécanisme REDD. Aujourd'hui, si le mécanisme REDD se résume à des actions précoces de lutte contre la déforestation et la dégradation et constitue des tests dans les dispositifs nationaux, demain il devra être mis en œuvre dans tous les pays. Selon Calmel *et al.* (2010) et Demaze (2012), on compte 133 projets REDD dans le monde (intégrant à la fois des projets REDD et de gestion forestière améliorée (IFM – *Improved Forest Management*). La majorité de ces projets sont en phase d'identification et de faisabilité et peu ont déjà démarré la phase de mise en œuvre. Sur ces 133 projets, près de 30% sont en cours de validation ou déjà validés par un « standard ». Les standards accessibles pour les projets REDD dans les pays tropicaux sont les standards VCS (*Voluntary Carbon Standard*), CCBs (*Climate Community Biodiversity*), CAR (*Climate Action Reserve*), CCX (*Chicago Climate Exchange*), ACR (*American Carbon Registry*), *Plan Vivo*, *Social Carbon*. Cependant, seuls les standards CCBs et *Plan Vivo* ont effectivement certifié des projets REDD dans ces pays à l'heure actuelle.

2.4. Les projets de REDD au Brésil

Actuellement, il existe au Brésil sept projets REDD en phase d'élaboration et/ou implémentation. Parmi eux, on note le projet PSA (*Pagamento por Serviços Ambientais / Paiement pour Services à l'Environnement*) de l'État d'Acre (*Acre/PSA, Carbono*), avec un objectif de réduction de 62,5 millions de tonnes de CO₂ sur 15 ans, le Projet « *Assentamentos sustentáveis na Amazônia* », avec un objectif de réduction de 1.760.394,78 tonnes de CO₂ sur 5 ans. Il faut noter également le *Projeto de Carbono Ecomapuá/Ilha de Marajo/PA* (300.000 t CO₂/an), le *Projeto de REDD para a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma*, (189,8 millions t CO₂ entre 2006 et 2050), le *Projeto Transamazônica* avec l'objectif de réduction de 3.136.953,73 tonnes de CO₂ sur 10 ans, le *Projeto Suruí, território indígena Sete de Setembro* (375.000 t CO₂/an), le *Projeto de REDD Genesis* (2.869 t CO₂/an). Il en existe encore d'autres en phase préliminaire de développement ou avec des questions techniques et méthodologiques encore non définies. Cependant, plusieurs de ces projets utilisent déjà des concepts et des enseignements tirés des projets

déjà existants. Parmi ces derniers, on peut citer le *Projet-pilote du REDD* localisé sur plusieurs communes du Nord-ouest de l'État de Mato Grosso dont la Fazenda São Nicolau à Cotriguaçu et l'Assentamento Vale do Amanhecer à Juruena. Ces projets comprennent un total de 10,5 millions d'hectares de surface dont plus de 8,6 millions sont encore maintenus en forêts. Le *projet IPAM (2011)* est en cours de développement en partenariat avec le gouvernement de l'État, *The Nature Conservancy Brasil (TNC Brasil)*, et *l'Instituto Centro de Vida (ICV)*. Azevedo *et al.* (2013) récemment ont présenté une étude qui souligne également les politiques et les listes publiques existants qui peuvent renforcer le REDD dans l'État de Mato Grosso. En accord avec la recherche, la mise en œuvre du système REDD à l'état ira au-delà des fonds de formation, en générant également des avantages environnementaux et sociaux, y compris un plus grand investissement.

2.5. Le REDD et les populations qui dépendent de la forêt

La prise en compte du rôle des populations indigènes et des communautés traditionnelles est importante dans ces processus. Cependant, plus d'effort sont nécessaires pour garantir que leurs droits à la terre et aux ressources soient appliqués. Des prestations financières données par des entreprises ou personnes privées pour services écosystémiques rendus par ces populations pourraient encourager le gouvernement dans cette voie. Les responsables pour l'implantation du REDD doivent premièrement aborder les droits des communautés vivant dans les forêts avant de prendre des mesures pour réduire les émissions de carbone des forêts. Il est possible qu'un compromis soit nécessaire entre réduire les émissions de carbone et réduire la pauvreté. Les droits des communautés forestières à exploiter les forêts et à vivre dignement seront alors évalués financièrement par rapport à la nécessité d'une action globale pour faire face aux changements climatiques (IPAM, 2011). Un exemple est celui des familles qui vivent dans la Réserve de Juma dans le district de Novo Aripuanã (AM) au Brésil : si les inspections effectuées régulièrement confirment que les arbres restent intacts, elles bénéficient d'un crédit de 30 dollars par mois sur un compte à leur nom. L'entreprise *Coca-Cola* et la chaîne d'*Hôtels Marriott* participent à ce projet (Pádua, 2005).

L'autre exemple est celui des communautés indigènes du *Projet Suruí* qui, en 2012, a reçu la validation standard internationale par le *Verified Carbon Standard (VCS)* en satisfaisant aux critères sociaux et environnementaux. La gestion des ressources financières provenant de ce projet est faite par les dirigeants des 25 communautés indigènes qui font partie du projet (*Projeto Suruí Carbono, RO, 2010*). Ils ont opté pour la création d'un fonds, le *Fonds Suruí Paiter*, qui sert à financer la mise en œuvre d'un plan de gestion sur 50 ans, en mettant l'accent sur la gestion durable, en conformité avec la gouvernance mise en place par les Indiens eux-mêmes dans leur territoire. Sous cette forme, le fond a été créé afin de recueillir les ressources financières de différentes origines dont celui du marché volontaire de carbone forestier pour tous les types d'actions : depuis les projets environnementaux aux activités agricoles (subsistance alimentaire de la population), en passant par la fiscalisation du territoire et l'appui institutionnel, mais aussi les initiatives dans le domaine de la santé et de la culture (Nery *et al.* 2013).

2.6. L'évaluation financière des projets REDD

Le financement international du REDD doit être intégré dans l'organisation du financement global développé sous l'égide du CCNUCC dans le cadre d'un accord conclu à Copenhague. Pour assurer la crédibilité, le financement international du REDD doit être clairement identifié et les engagements de financement doivent être stables, vérifiables et

exécutables. Le financement international REDD compléterait les financements nationaux par les pays appliquant des procédures REDD en fonction de leurs capacités respectives, en tenant compte des efforts nationaux en matière de gestion durable et la protection des forêts et des inventaires forestiers existants. Selon Calmel *et al.* (2010), l'analyse financière se déroulerait par étapes qui devraient être rigoureusement développées puis intégrées dans un cadre d'analyse synthétique. Afin d'éviter des conclusions biaisées, il est essentiel de considérer chaque composante comme indispensable à la crédibilité de l'évaluation. Un large éventail de sources de financement, nationaux et internationaux, publics et privés, devrait être à la portée des pays en développement afin de financer les projets de REDD. Les options de financement des Projets REDD sont aujourd'hui liées à la période d'exécution du projet ce qui peut augmenter le risque d'investissement car ils prennent du temps pour obtenir la validation standard internationale (Calmel *et al.* 2010).

Les coûts réels de la mise en œuvre d'un projet REDD ne peuvent être estimés de manière réaliste que par une analyse minutieuse, pays par pays et à travers une approche plus holistique de l'évaluation des coûts et des avantages REDD (Pádua 2005 ; Angelsen, 2008 ; Angelsen *et al.* 2009). La Banque Mondiale à travers le Fond Coopératif pour le Carbone dans les Forêts (FCPF) pour une assistance aux pays en développement, reçoit et finance les projets du REDD dans le monde. De la même façon, elle appuie des projets pour la conservation et la gestion durable des forêts après réalisation d'inventaires de carbone (Dalla Corte *et al.* 2012).

Le Secrétariat de l'Environnement de l'État de Mato Grosso a créé en 2009 (SEMA, 2009) un document pour le développement du programme REDD, où ce mécanisme est devenu un élément clé dans la stratégie globale de lutte contre le changement climatique. en même temps, ce document est considéré comme une excellente base de renforcer la gouvernance forestière, la protection de la biodiversité et améliorer la qualité de vie des populations rurales dans les zones forestières.

L'État du Mato Grosso possède un rôle prépondérant à jouer dans le programme REDD dans le contexte national et international. Au cours des dernières décennies, fut l'un des champions de la déforestation en Amazonie. Aujourd'hui, il développe des solutions innovantes pour améliorer la gouvernance forestière, tels que le système de licence environnementale pour les propriétés rurales, et on y observe une réduction significative du taux de déforestation au cours de ces dernières années. Même si une partie de cette réduction peut être attribuée à des facteurs économiques, elle indique la possibilité de mettre en œuvre des politiques qui maintiennent durablement la déforestation à des niveaux faibles.

En 2012, l'État du Mato Grosso représenté par le Secrétariat de l'Environnement en partenariat avec le Ministère Public de l'État et des entités non gouvernementales a présenté un projet de loi réglementant le REDD dans l'état. Le but de la loi est de créer des mécanismes pour promouvoir le développement et la responsabilité environnementale. La *Loi n° 9878* a été approuvée en janvier 2013 : Le mécanisme pourrait faciliter la réduction soutenue de la déforestation avec la croissance prévue des activités agricoles ; faciliter la gestion durable des forêts et de soutenir la durabilité des exploitations familiales et des communautés autochtones. Dans un nouveau cadre juridique il permettra au REDD de fonctionner avec l'appui des instruments au niveau de l'État et d'établir des règles claires, transparentes et des garanties. Il permettra aussi de faciliter la demande des sources d'accès à différents types de financements.

2.7. Les défis pour le REDD

L'idée centrale du mécanisme REDD est la conservation des forêts en faisant jouer la concurrence économique avec les forces motrices du déboisement. Ces forces, actuellement, favorisent les pratiques d'exploitation prédatrice et de conversion des forêts vers d'autres usages, comme les pâturages et les champs cultivés. Pour cette raison, les projets de REDD possèdent plusieurs défis à accomplir, parmi eux, la mesure de la quantité de carbone pour obtenir les crédits. Pour la détermination d'une valeur potentielle de rétention du carbone d'une forêt quelconque, il faut y estimer avec précision la quantité de carbone emmagasiné. De nouvelles technologies comme les images satellites et la modélisation informatique sont en train de permettre des mesures de carbone rapides et exactes. Un autre défi est lié aux paiements de crédits et aux responsabilités.

Comment ces paiements seront effectués à ceux qui développent ces projets? Qui devra recevoir une compensation pour la protection d'un secteur spécifique de la forêt : les gouvernements nationaux, les communautés locales vivant dans les forêts ou les entreprises partenaires des projets? Les pays donateurs demandent que les pauvres puissent bénéficier de ces paiements. Cependant, les gouvernements des pays susceptibles de bénéficier du projet REDD peuvent souhaiter conserver le contrôle sur la façon dont les paiements seront distribués.

Une autre question est de savoir comment se fait l'entretien de la forêt. Qui va assumer la responsabilité si les forêts prétendument protégées par le REDD souffrent de la déforestation? Que peut-on faire pour s'assurer que les paiements de carbone conduisent à la protection durable des forêts? (Dalla Corte *et al.* 2012 ; Nery *et al.* 2013). Selon Sanquetta *et al.* (2012), les chercheurs et les décideurs politiques commencent à réaliser que, en ce qui concerne le mécanisme REDD, des solutions de « taille unique » ne peuvent pas être adoptées.

Est-il possible que la meilleure façon de concevoir et de mettre en œuvre un régime mondial du REDD soit de permettre aux pays d'utiliser plusieurs mécanismes différents. Ainsi, il serait possible de suivre le développement de nouveaux mécanismes, et chaque pays pourrait choisir les mécanismes les plus appropriés pour leur situation.

2.8. Les projets de stockage de carbone et de REDD dans le secteur d'étude

2.8.1. Projet puits de carbone.

Le Projet Puits de Carbone est né en 1998 en partenariat entre la société Peugeot et l'entreprise d'Etat Français ONF (Office National des Forêts). Conscient de la responsabilité humaine croissante sur le réchauffement climatique, la Société Peugeot et l'ONF ont décidé de lancer un projet de mécénat environnemental dans une expérience pilote dans la lutte contre le réchauffement climatique au moyen de plantations forestières. Le projet consistait à reboiser une superficie déboisée de 2000 hectares (Fazenda São Nicolau) dans la forêt amazonienne du Mato Grosso, en utilisant des espèces indigènes pour la mise en œuvre de la reforestation. La principale vocation de ce projet est de démontrer qu'il est possible de faire un reboisement avec des espèces locales de l'Amazonie, et que ce reboisement par accumulation du carbone atmosphérique tout au long de sa croissance contribue à lutter contre l'effet de serre.

En 2008, dix ans après son lancement, le projet a atteint son objectif : deux mille hectares de pâturages ont été reboisés avec succès et le carbone stocké est suivi chaque année par une méthodologie internationalement reconnue (méthode GIEC / IPCC1). Plus

de 2 millions d'arbres de 50 espèces brésiliennes (pas seulement amazoniennes) ont été plantés. Le projet a été accompagné d'un programme scientifique multidisciplinaire de haut niveau qui agrège dans la fazenda les efforts des équipes brésiliennes et françaises. Le « Puits de Carbone » en croissance a enlevé à ce jour une moyenne de 8 tonnes de CO₂ par hectare / an et le taux d'absorption devrait encore augmenter dans les prochaines années.

2.8.2. Le projet PETRA

Au mois d'avril 2014 a été présenté par l'ONF (branche Internationale) et l'ONF (branche Brésil) le Projet (*Plate-forme Expérimentale pour la Gestion des Territoires Ruraux de l'Amazonie Légale ou Plataforma Experimental para a Gestão dos Territórios Rurais da Amazônia Legal*) dont l'objectif est de contribuer au développement durable de la région Nord-ouest du Mato Grosso.

Le projet vise à développer des études de caractérisation qualitative et quantitative des services environnementaux liés à la couverture forestière, en particulier aux Aires de Protection Permanentes (APP) et aux Réserves Légales (carbone, ressources hydriques, entre autres). Elles se combinent avec la définition et l'implantation d'un programme de recherche / formation en relation étroite avec les nécessités des parties intéressées.

Les actions du *Projet PETRA* permettront le développement d'une proposition d'un Programme REDD juridictionnel pour la commune de Cotriguaçu, conforme aux lignes directrices établies par le VCS. Le projet permettra également d'évaluer les opportunités en termes de coût/bénéfice d'implantation d'un tel programme ainsi que la qualification des réductions des émissions et du stockage de carbone dans la commune. La réalisation de ces travaux se conclura avec la rédaction d'un chapitre sur l'évaluation du niveau de référence du Programme REDD et une proposition du programme d'activités de la REDD.

2.8.3. Le Projet Poço de Carbone Juruena

Dans la commune de Juruena, le *Projet Puits de Carbone Juruena* est développé par la PETROBRAS, principalement sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, dont l'objectif central a été la démonstration de la viabilité technico-économique d'un projet de stockage de carbone réalisé au moyen de l'implantation des systèmes agro-forestiers qui maximisent la production des revenus aux assentados et la fixation du carbone dans les systèmes concernés.

Le projet est basé sur la mise en œuvre de quatre modèles de systèmes agroforestiers dans la municipalité de Juruena. Ces SAFs seront établis dans les zones ouvertes par les agriculteurs avant 1990 en raison des exigences régissant le mécanisme de développement propre - MDP. Les quatre modèles de SAFs ont été conçus selon des critères de génération de revenus, la valeur ajoutée, l'accumulation de la biomasse, la durabilité environnementale, la sécurité alimentaire et de la tradition et de la culture.

Le projet vise le stockage de carbone dans les espèces clés et pour répondre à la diversité des attentes et des demandes des agriculteurs, réunira des groupes d'espèces avec des performances similaires, par rapport à la capacité de stockage de carbone de chacune d'elles. Le projet sera développé avec 150 agriculteurs, impliquant une superficie de 660 hectares avec SAFs et 7000 hectares de zone où la déforestation est évitée.

Le projet prévoit l'atténuation du changement climatique par la mise en œuvre de plusieurs dispositifs des systèmes agroforestiers dans les zones de petite et moyennes agriculture, pour atteindre d'un stock de 80.579 tonnes de carbone (295.725 tonnes de CO₂) au bout de 21 ans. Compte tenu de l'augmentation des revenus des cultures pérennes,

la nécessité d'ouvrir de nouvelles zones va diminuer de façon spectaculaire, générant des émissions évitées (en ne défrichant pas de nouvelles zones) d'environ 422.625 tonnes de carbone (1.551.033 tonnes de CO₂) dans l'atmosphère.

Conclusion du chapitre 2

En raison des déboisements dans les forêts et de l'augmentation du réchauffement de la planète, le mécanisme REDD peut être une alternative pour réduire la déforestation et les EGES dans l'atmosphère et donc pour maintenir l'équilibre climatique.

Cependant, bien que le principe fondamental du REDD soit relativement simple, déterminer comment il fonctionnera dans la pratique se révèle être beaucoup plus complexe. Par exemple, le REDD ne sera efficace que s'il est bien conçu et exécuté ; s'il est suffisamment grand pour assurer un soutien multilatéral (May *et al.* 2011), et dans le même temps être suffisamment précis pour être appliqué à différentes circonstances nationales ; si les coûts de fonctionnement sont suffisamment bas pour faire en sorte que la conservation des forêts soit concurrentiel par rapport à d'autres options d'utilisations des terres et être suffisamment attractif pour obtenir le soutien des communautés locales et indigènes autochtones qui sont les mieux placés pour s'engager dans la gestion des forêts. Par conséquent, dans ce contexte les questions telles que le régime foncier, les droits des indigènes autochtones, le financement et les niveaux de référence d'émissions, sont la source de nombreux débats entre les parties prenantes du gouvernement, des entreprises et de la communauté à différents niveaux (May *et al.* 2011).

L'inclusion d'un mécanisme de réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD) dans un accord sur le climat est de plus en plus probable, et pourtant nombreuses sont les questions qui restent sans réponse. Quel sera le lien entre le mécanisme de REDD et les stratégies nationales de développement en cours ? Comment les communautés dépendant de la forêt pourront-elles être associées à la conception, à la surveillance et à l'évaluation des programmes REDD ? Comment le REDD sera-t-il financé et comment les pays s'assureront-ils que les bénéfices seront équitablement répartis entre tous ceux qui gèrent les forêts ? Et enfin, comment la quantité de carbone stockée et séquestrée grâce à au REDD sera-t-elle contrôlée ?

L'idée de base est que les pays développés doivent aider les pays en développement riches en forêts à la préservation de leurs forêts. Le REDD permettra donc d'établir une valeur pour le carbone qui devra permettre la conservation de la forêt pour rivaliser financièrement avec les facteurs traditionnels de la déforestation, tels que la conversion agricole, l'exploitation du bois et le développement des infrastructures.

Dans cette partie on a observé l'interrelation entre le REDD, le carbone et le stockage du carbone et les logiques de fonctionnement du mécanisme REDD. Un des enjeux majeurs est le contrôle et la mesure des stocks de carbone dont il convient d'aborder maintenant les méthodes de suivi et d'estimation.

Chapitre 3

Les méthodes et techniques

Chapitre 3 – les méthodes et techniques

Introduction du chapitre 3

La problématique de cette thèse est de cerner les conditions de stockage du carbone dans les sols d'exploitations agro-forestières et forestières dans la partie amazonienne du Mato Grosso. Or les conditions de stockage du carbone dans les sols dépendent à la fois des caractéristiques pédologiques, stables dans le temps, et de l'exploitation des terres par les agriculteurs. Cette dernière varie en fonction des différents types d'agriculture pratiqués actuellement. Deux des exploitations retenues ont été choisies parce qu'elles participent à des projets s'inscrivant dans des programmes de contrôle des EGES, la troisième (la Fazenda Preciosa) parce qu'elle exploite traditionnellement un espace semi-forestier. Proches l'une de l'autre, elles sont soumises aux mêmes conditions climatiques. En revanche, les usages du sol et leurs modes d'exploitation sont différents d'une exploitation à l'autre.

Dans l'objectif de comprendre les relations entre les pratiques des sociétés et le stockage du carbone, nous avons réalisé l'étude en trois phases présentées sur la Figure 3.1. Deux volets ont été définis, l'un dit « agricole », l'autre « pédologique ». Le premier consiste à caractériser l'occupation du sol et son évolution. Le « volet pédologique » nous a permis de préciser la nature des sols et d'évaluer leurs teneurs en carbone. Dans une dernière étape, nous avons confronté les résultats des deux premières phases afin de définir les paramètres pédologiques et les paramètres d'exploitation favorisant le stockage du carbone.

L'étude de l'occupation des sols a été fondée sur l'utilisation d'une série d'images satellitaires Landsat TM. Un premier traitement sur l'image de 2011 a permis une première identification de l'occupation des sols et l'élaboration d'un plan d'échantillonnage des sols en fonction de l'occupation des terres. Il a été suivi d'une campagne terrain pour validation des premiers résultats, l'acquisition de données complémentaires sur l'occupation des parcelles et enfin l'échantillonnage des sols. Ensuite, les documents définitifs ont été établis et le traitement des images plus anciennes a permis d'établir une chronologie de l'évolution de l'occupation du sol.

Le volet pédologique comprend plusieurs étapes. Les analyses en laboratoire ont été effectuées à l'UFMT- Université Fédérale de Mato Grosso. Les résultats des analyses des sols ont été traités successivement selon deux approches, l'une classique de façon à dégager les caractéristiques essentielles et la seconde selon des méthodes statistiques. L'objectif de ces dernières est d'affiner les classes texturales de sols et de dégager les paramètres favorisant le stockage du Carbone. Par ailleurs, afin de spatialiser les données pédologiques, nous avons établi une carte hypsométrique à partir d'un MNT.

Le croisement des résultats des deux approches doit permettre de cerner l'impact des pratiques agricoles et forestières sur le stockage du carbone.

Les travaux de terrain ont eu lieu en juillet et août 2012 et 2013. Ces dates ont été privilégiées car elles se situent pendant la saison sèche, ce qui a permis de réaliser le terrain dans de bonnes conditions. Les campagnes terrain ont permis de mener des discussions avec la Directrice de la Fazenda São Nicolau Mlle. Cleide ARRUDA, avec une vingtaine d'agriculteurs de l'Assentamento Vale do Amanhecer, et avec le gérant de la Fazenda Preciosa M. José Antonio BATISTA. Les informations obtenues portent notamment sur le mode de gestion des fermes.

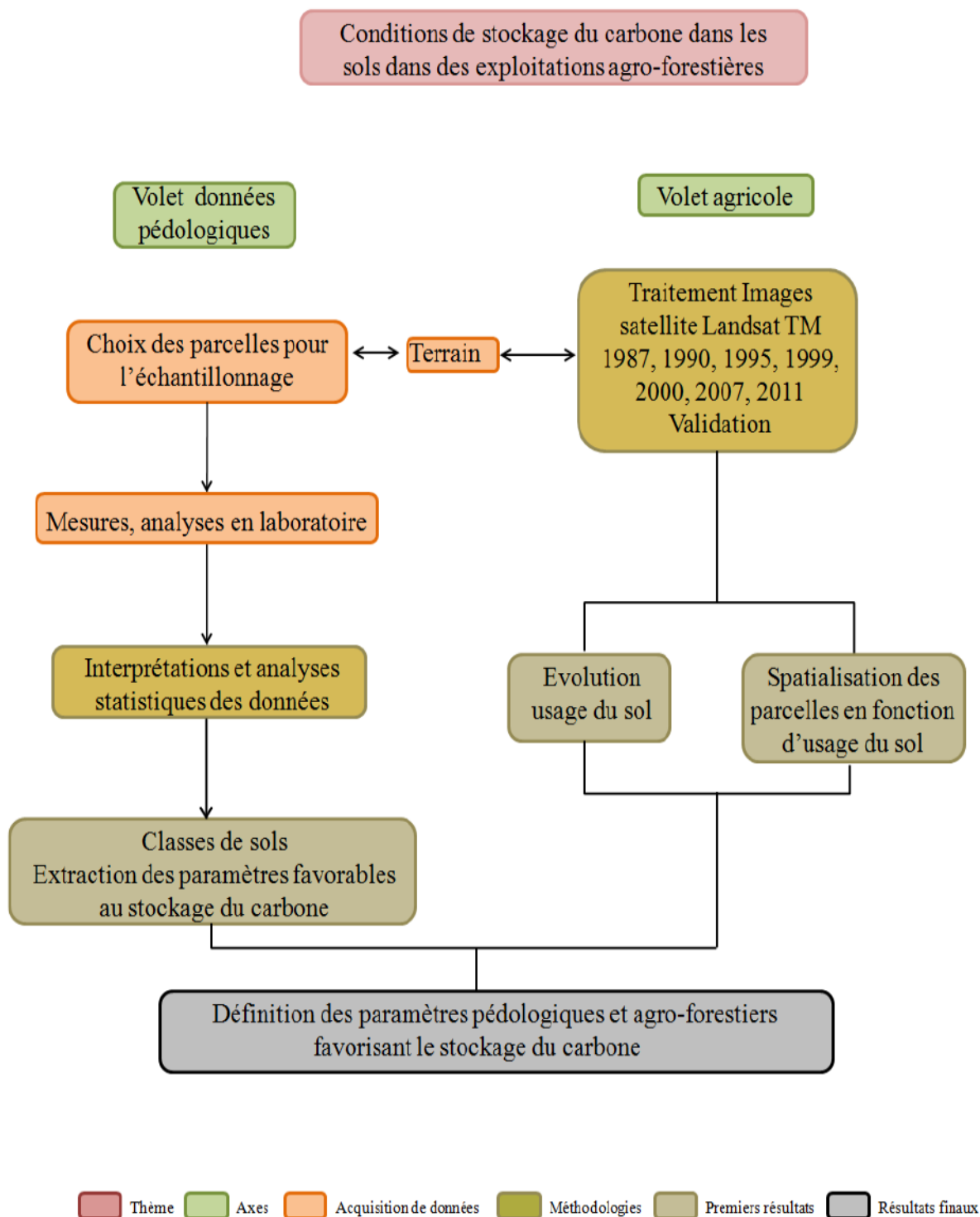


Figure 3.1. L'organigramme général avec les thèmes et les méthodes utilisés dans la thèse.

Dans le cadre de cette étude, de nombreux documents ont été utilisés (Tableau 3.1). Outre les images satellites, nous nous sommes procuré les photographies aériennes, les cartes topographiques régionales et des cartes thématiques. L'ensemble des documents cartographiques sont à petite voire très petite échelle. Cela nous a mené à dresser nous-même comme il est indiqué ci-dessous, une carte hypsométrique des exploitations étudiées de façon à mieux saisir la répartition des sols.

Tableau 3.1. Documents utilisés

Documents de Télédétection	<p>Photographies Aériennes et Mosaïques Photographiques de 1967, l'Accord <i>AST-USAF/Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S/A</i>. Echelle : 1:60.000. Projeto RADAM et Projeto RADAMBRASIL. MME/SG/DNPM.</p> <p>Images satellites Landsat TM, Scène 229, fournies par l'INPE (Brésil): 1987 (15/08/1987) ; 1990 (04/06/1990) ; 1995 (04/07/1995) ; 1999 (15/07/1999) ; 2000 (18/08/2000) ; 2007 (06/08/2007) ; 2011 (01/08/2011).</p>
Cartes topographiques et géologiques	<p>Cartes Topographiques : Feuilles : Rio São João da Barra (SC.21-V-D) et Tapaiuna (SC.21-Y-B). Echelles 1 : 250.000 et 1 : 100.000. publiées par la DSG – Ministère de L'Armée de Terre du Brésil (1980).</p> <p>Projeto RADAMBRASIL. MME/SG/DNPM – Géologie – Feuille SC.21/Juruena à l'échelle 1 : 1.000.000, de Hugo Silva <i>et al.</i> (1980). Géologie et Ressources Minérales de l'État de Mato Grosso de la CPRM/SICME (2004 a), Bittencourt Rosa <i>et al.</i> (2002, 2006, 2012), de l'IBGE (2009) et de la SEPLAN-MT (2011).</p> <p>Projeto Promin Província Alta Floresta de la CPRM (2004 b) - Feuille São João da Barra, Sigle SC.21-V-D – Echelle 1 : 250.000. Feuille Tapaiuna– Sigle : SC.21-Y-B/CPRM (2011) – Echelle 1 : 1.000.000.</p>
Cartes géomorphologiques, pédologiques, de la végétation et d'usage potentiel de la terre.	<p>Projeto RADAMBRASIL, Feuille SC.21/Juruena, 1 : 1.000.000 : Géomorphologie de Melo et Franco (1980), Pédologie et Levé Exploratoire des Sols de Cunha <i>et al.</i> (1980); Végétation de Loureiro <i>et al.</i> (1980), et L'Usage Potentiel de la Terre de Campos <i>et al.</i> (1980).</p> <p>Miranda et Amorim (2000) – Atlas Geográfico de Mato Grosso. SEPLAN-MT (2011).</p>
Divers	<p>Miranda et Amorim (2000) – Atlas Geográfico de Mato Grosso. SEPLAN-MT (2011).</p>

3.1. Le volet agricole

3.1.1. Le traitement des images satellites

Les données satellitaires provenant des plateformes Landsat TM 5, ont été sélectionnées dans ce travail pour les trois sites d'études. Le principal objectif du système Landsat était la cartographie multi spectrale en haute résolution de la surface terrestre. Au moyen d'un capteur TM (*Thematic Mapper*) qui dispose de 7 canaux radiométriques à une résolution de 30 m. Les canaux dans le visible sont : le canal 1- bleu (0,45 – 0,520), le canal 2 - vert (0,520 – 0,600), le canal 3 – rouge (0,630 – 0,690). Les canaux dans l'infrarouge sont le canal 4 – proche infrarouge (0,760 – 0,900), le canal 5 – Moyen

infrarouge (1,550 – 1,750), et le canal 7 - Infrarouge lointain (2,08 – 2,35). Enfin il existe, selon Moraes (1999) le canal 6 ou canal thermique (Figure 3.2).

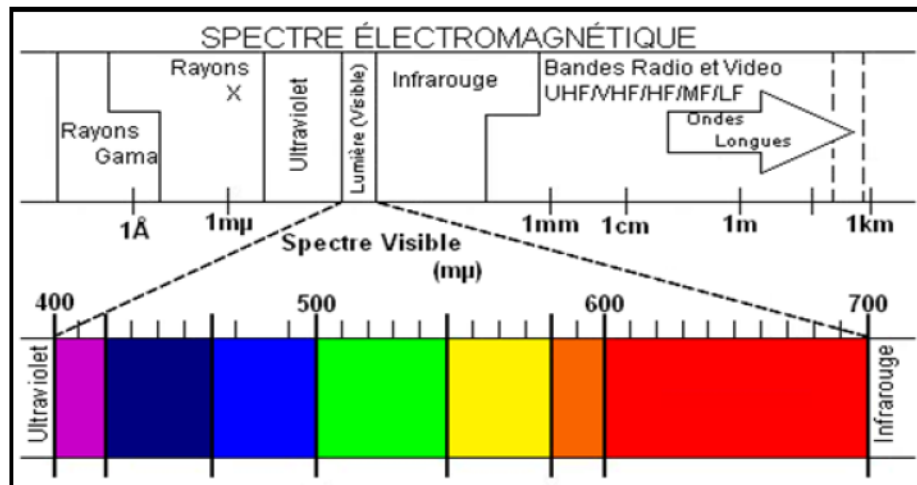


Figure 3.2. Spectre électromagnétique (d'après Moraes, 1999).

Chacun des canaux des satellites Landsat TM 5 correspond à une fourchette de longueurs d'onde du spectre ayant des propriétés spécifiques. Le canal 1 correspond à l'influence de la dispersion et l'absorption atmosphérique. Le canal 2 permet l'étude de la réflectance de la végétation saine. Le canal 3 permet la différenciation entre les espèces végétales. Le canal 4 (proche infrarouge) est très sensible à la quantité de biomasse contenue dans la végétation. Le canal 5 (moyen infrarouge) est sensible à la mesure de l'humidité. Le canal 7 permet la différenciation entre les unités géologiques. Le canal 7 ne sera pas utilisé dans ces études. Les images satellites utilisées ici sont indiquées sur le tableau 3.1. Nous avons utilisé les canaux 2, 3, 4 et 5. Les étapes du traitement des images sont exposées sur la Figure 3.3.

Dans une étude de détection de changements, les images utilisées doivent présenter des caractéristiques les plus homogènes possibles de sorte que les différences provenant de leur comparaison puissent être associées à de réels changements d'état du territoire et non à des artefacts liés aux images. Idéalement, les images doivent provenir du même capteur et la date d'acquisition doit varier le moins possible. En raison de considérations physiques et économiques, ces conditions idéales n'ont pu être rencontrées. Afin de contrer ces lacunes, les images ont d'abord fait l'objet de corrections atmosphérique, radiométrique, et géométrique (Lounis et Belhadj, 2005).

Les corrections atmosphériques ont pour but de corriger certaines variations de la distribution des données causées par le décalage temporel dans l'acquisition des images. En effet, les facteurs comme l'angle d'élévation du soleil, la distance terre-soleil, le calibrage des capteurs, les conditions atmosphériques et la géométrie de visée affectent la valeur numérique des pixels (Lounis et Belhadj, 2005). Nous avons choisi la méthode *Dark Subtract* qui est la soustraction de pixels sombres, le logiciel utilisé a été ENVI 4.7.

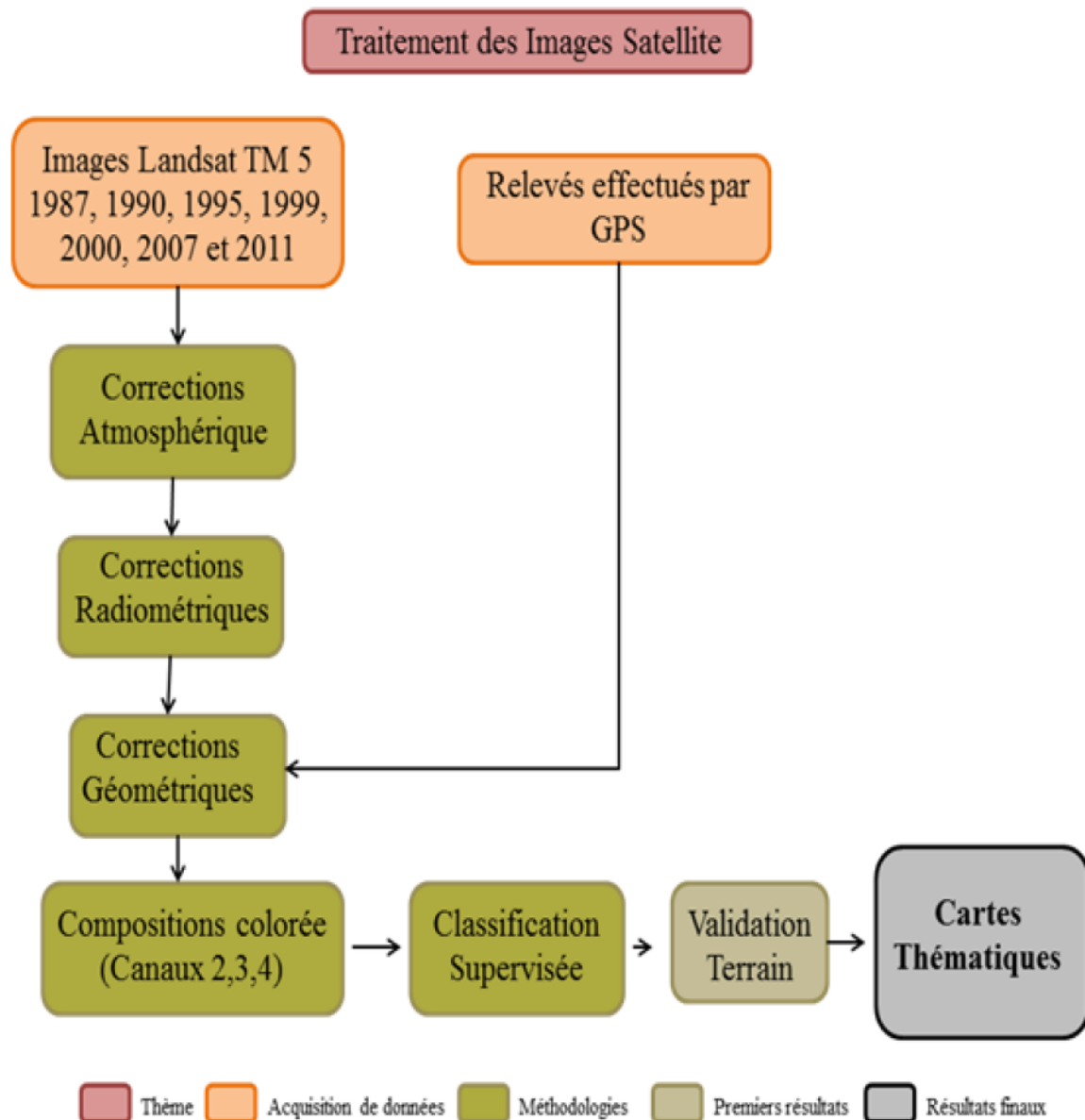


Figure 3.3. Organigramme du traitement des images satellitaires.

La méthode employée pour la correction radiométrique a été le *stripping* (étalon successif de lignes horizontales qui apparaissent dans l'image en raison par exemple de la qualité des données acquises par le capteur) ; on a utilisé le logiciel Idrisi Taiga pour les corrections radiométriques. L'objectif est de normaliser l'image selon les propriétés du capteur Landsat TM, de convertir les valeurs numériques des images en valeurs de réflectance selon les paramètres du capteur Landsat TM et de minimiser l'impact des conditions non-surfaciques sur les valeurs de l'image (Souza *et al.* 2008).

Les corrections géométriques ont été appliquées aux images afin de les géoréférencer dans le système de coordonnées UTM et de les rendre superposables pour permettre la comparaison des classifications et la détection des changements entre les deux dates. La méthode appliquée a été la méthode de points de contrôle et le logiciel utilisé a été ENVI 4.7.

Après les corrections des images, on a fait une composition colorée en fausses couleurs des images. On a choisi trois canaux radiométriques : 4, 3, 2 (proche infrarouge,

rouge et vert), et chacun a été respectivement associé à une couleur primaire du système RGB (*red, green, blue*) : le rouge a été attribué au canal 4, le vert au canal 3 et le bleu au canal 2. La combinaison de ces couleurs artificielles donne une meilleure précision de la végétation sur les images (Moraes, 1999 ; Silveira, 2013).

L'un des objectifs principaux de la télédétection est l'extraction des caractéristiques des images brutes par des processus de classification des pixels, en fonction d'un échantillonnage statistique. Nous pouvons définir comme classification d'images de la télédétection, l'association de chaque pixel à une information qualitative (attribut). Les valeurs de chaque niveau de gris par pixel peuvent être associées à la réflectance des matériaux qui le composent sur le terrain. De cette manière chaque pixel ou un ensemble de pixels seront associés à une classe ou thème.

L'interprétation de l'image en composition colorée est la première étape pour une classification, la reconnaissance correcte des objets de l'image étant fondamentale pour l'application d'algorithmes de classification numérique. L'interprétation visuelle de l'image en composition colorée fait usage d'éléments de reconnaissance qui servent de facteurs de guidage dans le processus de reconnaissance et d'identification des cibles. Les éléments de base de lecture d'une image sont la tonalité et la couleur, la forme et la taille, la texture et l'ombre (Antunes, 1996). Selon Silveira (2013), en traitement de l'imagerie numérique, la couleur sert avant tout à distinguer les différents objets présents sur l'image et ainsi faciliter leur interprétation. Lorsqu'on réalise une composition colorée en combinant trois canaux spectraux, l'objectif est bien de tirer le maximum d'information de l'image et de rendre l'analyse plus aisées. Le logiciel ENVI a été utilisé pour les compositions colorées.

De façon concrète, nous avons extrait de chaque scène sélectionnée (cf. Partie 2 § 5.1.) deux fenêtres correspondant aux trois exploitations étudiées, la première est centrée sur la Fazenda São Nicolau et la seconde sur l'Assentamento Vale do Amanhecer et la Fazenda Preciosa, toutes les deux limitrophes. Ces deux fenêtres seront systématiquement utilisées dans la suite des opérations. Des compositions colorées ont été effectuées sur les canaux 4, 3 et 2 en RGB des images Landsat TM retenues afin d'obtenir une première interprétation de l'occupation des sols sur les exploitations étudiées et établir un plan d'échantillonnage terrain. L'image 2011 a servi à confirmer ou contester et affiner la première identification de l'occupation du sol et les résultats de cette opération jointe à des relevés GPS pour chaque point contrôlé, ont été utilisés dans l'étape suivante.

Des classifications des images satellites ont pu alors être réalisées par la méthode du maximum de vraisemblance, en utilisant les parcelles d'entraînement définies à partir des observations effectuées sur le terrain en 2012 et 2013. Après la classification supervisée nous avons obtenus sept classes: forêt haute, forêt basse, « capoeira », pâturages avec ligneux, pâturages, sols nus et eau.

La précision de la méthode de classification informatique a tendance à être légèrement plus faible par rapport à la photo-interprétation, peut-être à cause de la qualité de l'image multispectrale, et principalement à cause du choix des échantillons d'entraînement, tâche la plus difficile si l'on prend en compte les caractéristiques de la fragmentation de l'usage du sol. L'analyse d'erreur des échantillons sélectionnés a montré une valeur de précision moyenne de 92,22 % pour la Fazenda São Nicolau pour l'année 2011, année de validation et pour la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer une moyenne de 96,32 %. Ces valeurs sont considérées satisfaisantes et confirment une bonne détermination des échantillons. Le choix de chaque lieu pour les

points d'échantillonnage a été fait à partir de l'analyse visuelle de l'historique de l'occupation du sol, observé dans la séquence chronologique des images.

3.1.2. Le choix des images et l'échantillonnage

Le choix des images

Douze images entre 1987 et 2011 ont été retenues en fonction de leur qualité. En utilisant la technique de la composition colorée, six images ont été sélectionnées pour chacune des exploitations sur des critères permettant de montrer les étapes de changement d'occupation des sols.

Les images concernant la ferme de São Nicolau sont de 1987, 1990, 1995 et 1999 et montrent les étapes de l'augmentation des surfaces exploitées; les images de 2007 indiquent un changement dans l'occupation des sols et 2011 l'état récent de cette occupation.

Pour l'Assentamento Vale do Amanhecer, 1987 marque l'état initial de dégradation de la couverture végétale, les images de 1990, 1995 et 1999 indiquent des évolutions limitées de la couverture végétale tandis que l'année 2000 marque le début d'une exploitation systématique. L'image de 2011 est retenue comme témoin de l'occupation récente.

Sur la Fazenda Preciosa, les mêmes années que celles de l'Assentamento Vale do Amanhecer ont été retenues, cette exploitation étant caractérisée par une occupation des sols permanente.

L'échantillonnage

Sur les images en composition colorée, nous avons déterminé 4 classes principales (forêt, sols nus, reforestation, pâturages) plus une classe « cultures », sur l'Assentamento. Le choix des points d'échantillonnages s'est effectué en tenant compte de l'occupation des sols en 2011 mais également des années précédentes. En effet notre échantillonnage a porté sur l'identification couvertures végétales des parcelles, mais aussi des sols sous-jacents.

La Fazenda São Nicolau, est divisée en 134 parcelles et 26 zones de préservation permanente où sont effectués les inventaires annuels des arbres. Les points d'échantillonnage (Figure 3.4) ont été retenus dans les parcelles choisies préalablement en fonction de l'historique de la végétation et de l'occupation du sol. Sur cette ferme un total de 111 échantillons (voir ci-dessous) a été collecté.

Sur la Fazenda Preciosa, la composition colorée indiquait des couleurs nuancées allant du rouge au rose très pale ou dans la gamme des bleus, ne permettant pas d'identification nette. De ce fait, les points d'échantillonnage ont été définis selon un plan en séquence en fonction des dégradés de couleur et 45 points ont ainsi été retenus.

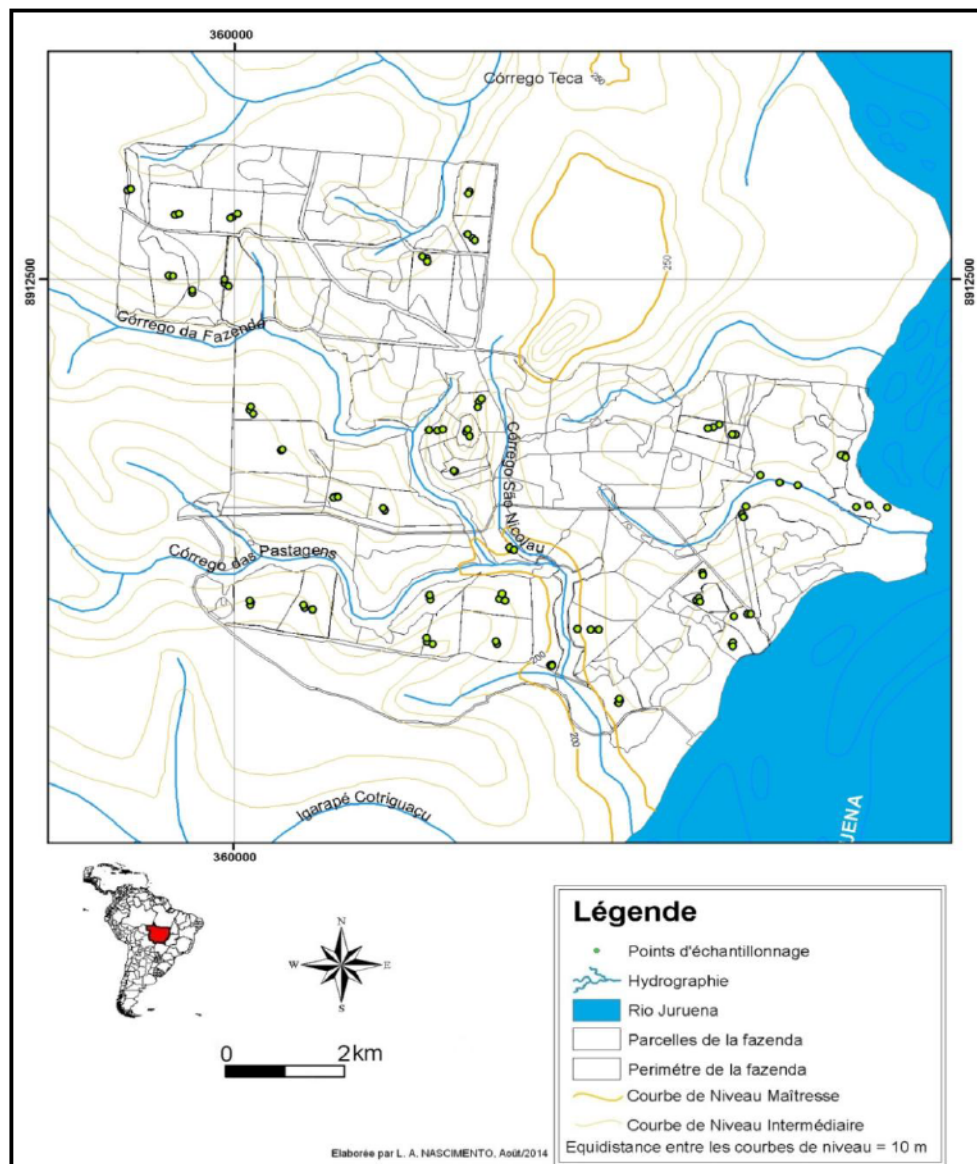


Figure 3.4. Localisation des points échantillonnés sur la Fazenda São Nicolau.

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, comme sur la Fazenda São Nicolau, les points d'observation ont été réalisés en fonction de l'historique et 123 points ont été définis (Figure 3.5).

Chaque point d'échantillonnage a fait l'objet de quatre relevés systématiques :

- les coordonnées géographiques (en vue de la correction géométrique) à l'aide d'un récepteur GPS (*Global Position System*) ;
- l'altitude enregistrée avec un altimètre de la marque *Recta H 60 hPa (mbar) 16 Jewels* ;
- le relevé de la couverture végétale au sol ;
- le prélèvement de sol.

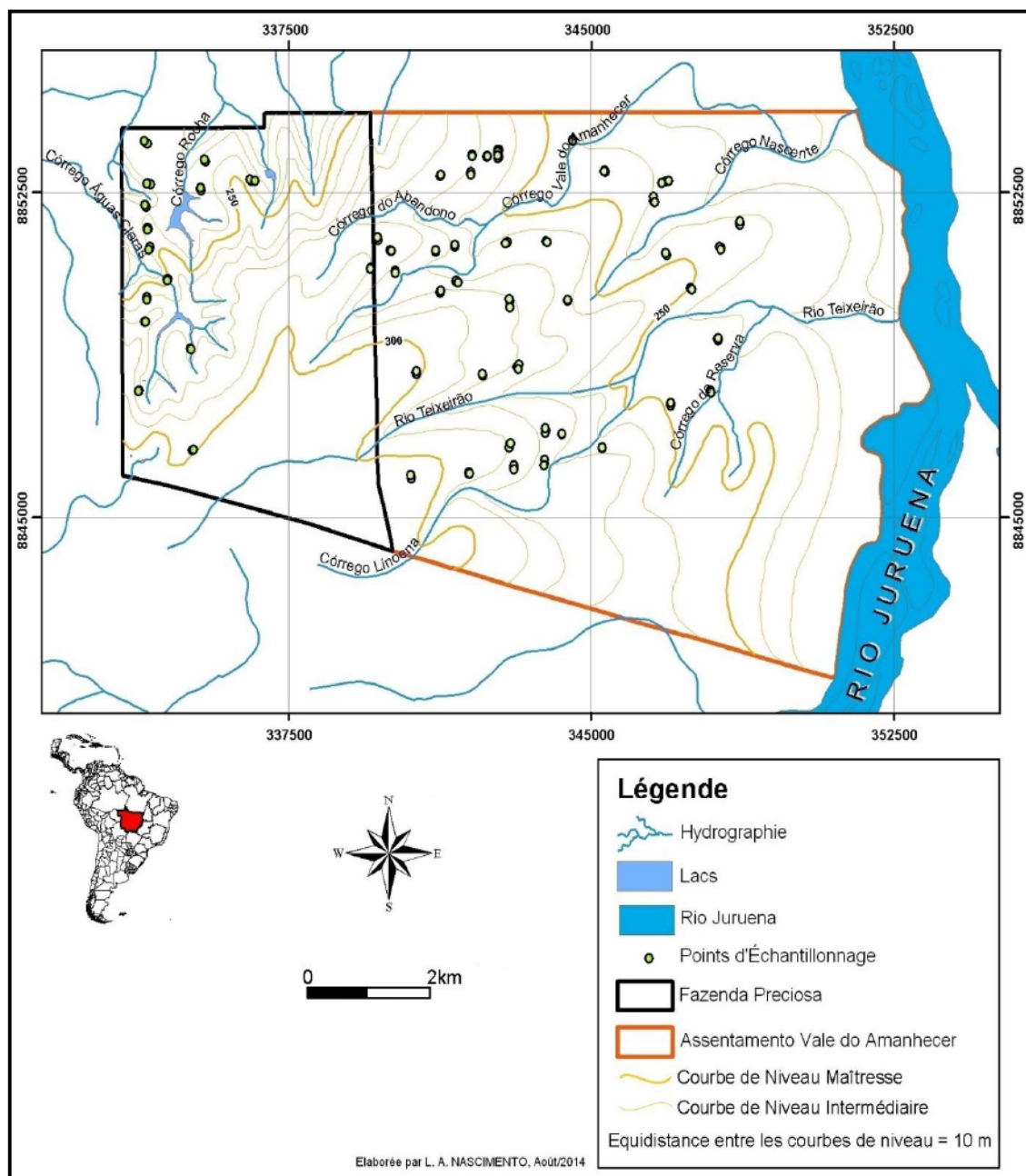


Figure 3.5. Répartition des points échantillonnés sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer.

Le relevé de couverture végétale recouvre des observations sur la formation ou l'usage agricole du sol, la hauteur et la densité des végétaux, les espèces, le recouvrement des sols par la végétation ou la litière, l'usage des formations végétales par l'exploitant. Des renseignements sur la productivité observée, l'usage des engrais et de produits phytosanitaires nous ont été fournis pour chaque point par les techniciens ou ingénieurs qui nous accompagnaient sur la Fazenda São Nicolau, par le gérant de la Fazenda Preciosa et par les Assentados de l'Assentamento.

3.2. Le volet pédologique

L'échantillonnage du sol a été effectué avec une tarière néerlandaise dont le trou de perforation est de 30 centimètres de longueur dans les 30 premiers centimètres du sol. Sur

chaque parcelle échantillonnée, nous avons fait les prélèvements en trois points, en fonction de la topographie locale : haut, milieu et bas de parcelle, nommés respectivement par les lettres A (moyen), B (haut) et C (bas).

3.2.1. Les analyses en laboratoires

Un protocole d'analyses a été établi selon une méthode classique (Figure 3.6) avec d'une part les analyses physico-chimiques sur la fraction de terre fine (< 2 mm) et d'autre part sur la fraction argileuse (< 2 µm). Les résultats de ces analyses ont été traités selon des méthodes statistiques.

3.2.1.1. Préparation des échantillons

Elle a été effectuée au Laboratoire ICCA de l'UFMT à Sinop. Après séchage à 40°C dans une étuve à circulation d'air, les échantillons ont été passés dans un tamis avec une maille de 2 mm d'ouverture. Les gros agrégats ont été pulvérisés sur un tapis de caoutchouc avec l'aide d'un rouleau puis tamisés à 2 mm. La fraction > 2 mm a été conservée.

3.2.1.2. Les analyses physico-chimiques et l'évaluation du carbone

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire FAMEVZ de l'UFMT à Cuiabá. Elles ont été effectuées en suivant les méthodes décrites par l'EMBRAPA (1997).

L'analyse granulométrique

La fraction grossière > 2 mm a été pesée et exprimée en pourcentage d'échantillon global pourcentage qui a servi pour des corrections ultérieures.

La fraction inférieure à 2 mm (terre fine) : les fractions de sables (0,05 – 2 mm), limons (0,002 mm – 0,05 mm) et argiles (< 0,002 mm) ont été mesurées par densimétrie et convertis en pourcentage, par rapport à la fraction totale de terre fine. La méthode du densimètre a été proposée en 1926 par Bouyoucos : elle est basée sur le principe de sédimentation des particules en suspension. Il a lié les densités avec le temps et la lecture de la température en calculant avec ces données, le pourcentage des particules (EMBRAPA, 1997).

Ces résultats ont été ensuite reportés sur le diagramme triangulaire de terre fine de l'USDA (US Department of Agriculture) afin de qualifier la texture qui indique l'abondance relative, dans le sol, de ces différentes fractions.

La densité du sol

Elle a été calculée à partir de la fraction totale de terre fine. Elle correspond au rapport entre la masse des solides du sol sec (m) par unité de volume (Vt) (Curi *et al.* 1993).

$$d = m/Vt$$

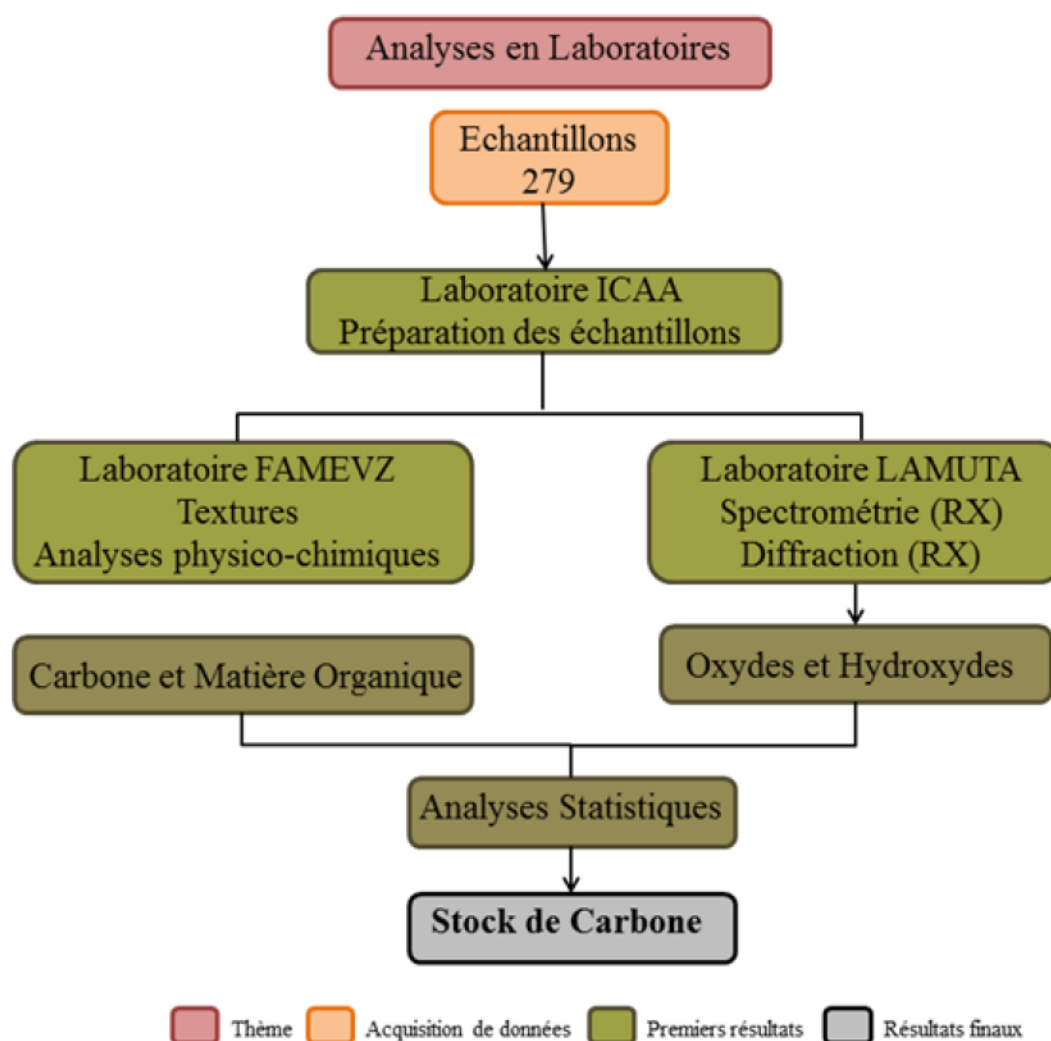


Figure 3.6. Protocole suivi pour l'obtention des données pédologiques.

Les analyses chimiques

Les mesures effectuées sur la terre fine sont le pH, les bases échangeables (Ca, Mg, K, Na...), la Capacité d'Échange Cationique (CEC), le taux de Saturation (S), le Carbone et la Matière Organique Totale (MOT). Les analyses ont été faites selon les méthodes adoptées par l'EMBRAPA (1997) :

Le pH a été déterminé par mesure électrométrique sur une solution d'un mélange sol / liquide (ici CaCl_2 et eau)

Les bases échangeables et la CEC sont déterminées à pH 7 selon la méthode du chlorure de baryum tamponnée par la triéthanolamine.

L'Aluminium échangeable a été déterminé par la méthode titrimétrique, méthode qui consiste à extraire l'aluminium du sol à partir d'une solution d'acétate de calcium 1N, ajusté à différents niveaux de pH. .

L'acidité d'échange (H et Al) a été obtenue par titrage d'une solution d'extraction. La détermination de l'acidité échangeable, en particulier l'aluminium et de l'hydrogène, ont été faites avec une solution d'extraction de KCl.

Le Carbone Organique a été déterminé selon la méthode Walkley et Black (1934) par oxydation humide dans un « four à moufle ». L'oxydation est obtenue par une quantité en excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique. Le Carbone est exprimé en % de matière sèche.

La matière organique totale est déterminée par méthode indirecte (Allison *et al.* 1965), en appliquant au résultat un coefficient de 1,72.

3.2.1.3. Calcul du Stock de Carbone

La quantification du stock de carbone du sol se fait en tenant compte des résultats de l'analyse du carbone organique, de la densité du sol et de sa profondeur. Ici, le mode d'échantillonnage à la tarière nous a donné une profondeur constante de 30 cm sauf pour 3 échantillons où la profondeur n'était que de 15 à 25 cm.

Il existe plusieurs formules selon Machado (2005) et Bayer et Diekow (2005) pour calculer le stock de Carbone d'un sol. L'équation suivante a été utilisée :

$$EC = [C] \times d \times l$$

[C] – quantité de C en g / kg ;

(d) – densité en g/cm³ ;

(l) – épaisseur de l'horizon en mètres.

EC est exprimée en kg / m²

3.2.1.4. Les analyses géochimiques et minéralogiques

Ces analyses ont été effectuées au Laboratoire LAMUTA de l'UFMT à Cuiabá. Trois types d'analyse ont été menés.

La Perte au feu a été effectuée en soumettant la fraction < 2 µm des échantillons à une température de 900°C dans un four afin de mesurer l'eau constitutive des particules des sols.

Les analyses géochimiques par spectrométrie par fluorescence des rayons X

Les analyses ont été effectuées sur la fraction < 2 µm extraite des 279 échantillons de terre fine. Les particules ont été conditionnées en pastilles qui ont été pressées dans une presse du type PSA 40 de marque *Teclago* (Photo 6.6, cf. Annexes D). Ces pastilles sont passées au Spectromètre de Rayon X par Dispersion d'Energie de la marque *Shimadzu EDX-700HS* (Photo 6.7, cf. Annexes D). La méthode d'analyse est semi-quantitative et les résultats sont calculés au moyen d'un programme *EDX-Software*. On a ainsi obtenu les teneurs totales en éléments chimiques sous forme d'oxydes.

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X

Ces analyses ont été réalisées sur 78 des 279 échantillons. Le choix des échantillons a été fait en fonction des teneurs en argile granulométrique les plus élevées et les plus faibles. La fraction < 2 µm extraite de la terre fine des 78 échantillons retenus a été utilisée pour être conditionnée sur un porte-échantillons d'aluminium. Le diffractomètre *LAB X - XRD 6000* marque *Shimadzu*, a été employé (Cf. Photo 6.8, Annexes D) et les mesures ont été faites selon des angles de balayage de 10° à 80° (θ–2θ). Les fentes (*slits*) utilisées ont été de 1,0°, 1,0° et 0,6°. Les échantillons soumis aux rayons X ont été chauffés jusqu'à

900°C de façon à préciser la composition des échantillons. Les données obtenues sont qualitatives.

3.2.2. Les analyses statistiques

Elles ont été appliquées aux données acquises par analyses en laboratoire des 279 échantillons. Nous avons mené notre étude statistique des données en plusieurs étapes (Figure 3.7). La première a été l'identification des classes texturales de sol, suivie de l'esquisse cartographique à l'échelle des exploitations étudiées. Dans un deuxième temps, nous avons recherché les paramètres significatifs dans le stockage du carbone, autres que la texture. Enfin, nous avons tenté une approche spatiale de la distribution des stocks de carbone.

Dans l'analyse simultanée d'un grand nombre de renseignements, la statistique multivariée est le meilleur outil qui permet l'obtention d'informations et des interprétations qui ne seraient pas décelables avec l'utilisation de l'analyse statistique univariée. Selon Medeiros (2012), l'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une analyse statistique multivariée qui a comme objectif d'expliquer les caractéristiques les plus pertinentes des données à partir d'un ensemble réduit de variables obtenu comme des combinaisons linéaires des variables originales.

Certaines études ont appliqué des techniques multivariées pour l'évaluation des variables du sol et des résultats satisfaisants ont été trouvés (Freddi *et al.* 2008).

L'objectif (Figure 3.7) a été de fixer le nombre de classes de texture dans chaque exploitation étudiée avec l'aide de l'analyse statistique. Les sols sont composés de particules dont la taille varie d'un sol à un autre, donnant à chacun une texture spécifique. La texture du sol conditionne en partie un certain nombre de leurs propriétés physico-chimiques comme l'agrégation, la circulation de l'air et de l'eau dans le sol, la capacité d'échange (Silveira *et al.* 2011). Nous avons vu précédemment que les auteurs s'entendent pour reconnaître le rôle de la fraction argileuse dans le stockage du carbone organique.

Nous avons utilisé le diagramme de texture de l'USDA pour vérifier les classes texturales de chaque exploitation (cf. § 3.3.1.2). Après disposé les données granulométriques sur les triangles, nous avons obtenue 7 classes de texture pour l'Assentamento Vale do Amanhecer et pour la Fazenda São Nicolau et 5 classes texturales pour la Fazenda Preciosa. Après cette première définition des classes texturales des données granulométriques sur le diagramme de texture, nous avons utilisé des techniques statistiques pour tester la validité de la classification.

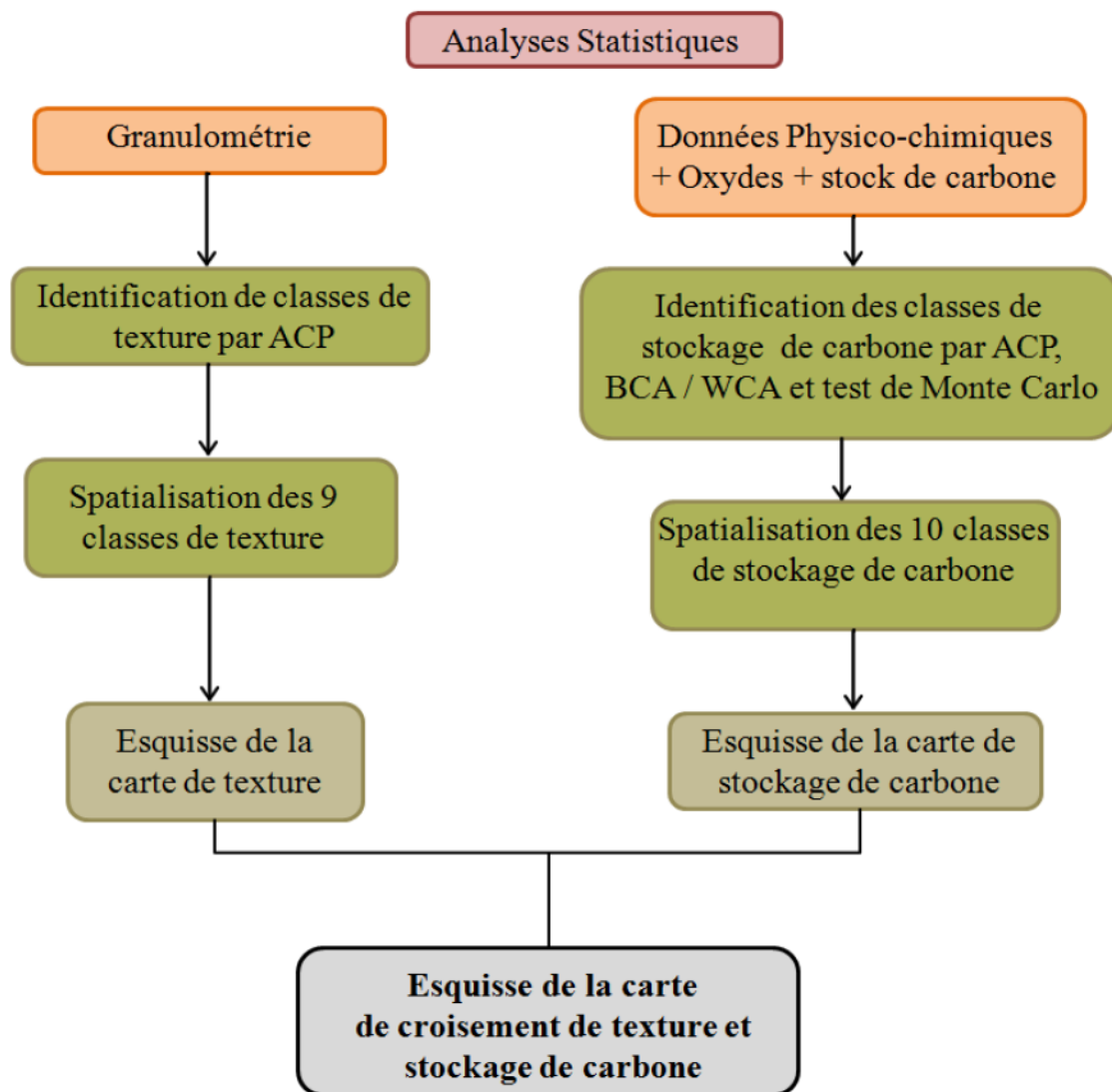


Figure 3.7. Organigramme des analyses statistiques réalisées sur les échantillons de sol.

L'analyse statistique appliquée à la classification texturale des sols

Pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP), nous avons utilisé les points d'échantillonnage et données granulométriques dans le cercle de corrélation permettant de projeter sur les axes factoriels les 7 classes trouvées à partir du triangle de texture. Nous avons réalisé l'analyse de groupement par la méthode hiérarchique, en utilisant la distance euclidienne comme mesure de similitude entre les enregistrements (méthode de Ward). Le dendrogramme obtenu par l'analyse de groupement présente sur l'axe vertical, le niveau de similitude et, sur l'axe horizontal, les champs qui forment les classes homogènes (Freitas *et al.* 2014). Les classifications ont permis d'ajuster le nombre de classes de texture à 9. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (Dray et Dufour, 2007) et les résultats obtenus ont été comparés à la méthode classique du diagramme de texture. La répartition spatiale des classes de texture a été faite sous d'ArcGis 10.4 où les points de même texture ont été reliés entre eux en prenant en compte les données topographiques. Le produit final est une esquisse de la carte de texture de chaque terrain d'études.

L'Analyse statistique appliquée au stockage du carbone

L'analyse a également été effectuée en plusieurs étapes, la première permettant de définir les paramètres chimiques et géochimiques corrélés aux classes de texture, la seconde d'identifier les propriétés physiques et chimiques contraignantes pour le stockage du carbone en relation avec les différentes classes de textures de sol.

Cette analyse commence par une ACP de tous les éléments physico-chimiques, et géochimiques. Cette première classification a pour objectif de réduire le nombre de variables et de ne retenir que les variables ayant un rapport pertinent avec les données du carbone (MO, teneurs en carbone organique et stock de carbone calculé). Un test a été fait par ACP, avec comme seules variables les paramètres physico-chimiques, géochimiques et le carbone organique. L'objectif était de vérifier le comportement des variables sans considérer le stockage du carbone.

De nouvelles analyses ont été réalisées avec les variables physicochimiques et géochimiques retenues, le carbone organique et le stock de carbone, en appliquant les méthodes du cercle de corrélation et celle des *S-class* qui permet de projeter sur les axes factoriels des classes de sols ou de carbone. Cette phase vise à montrer les corrélations entre les différentes variables, le carbone organique et le stockage du carbone. Dans cette séquence, nous avons ensuite appliqué une classification par la méthode de la classification hiérarchique ascendante en utilisant la distance euclidienne comme mesure de similitude entre les données (méthode de Ward). Après, nous avons fait les tests de BCA (*Between Correlation Analysis*) et WCA (*Within Correlation Analysis*) ainsi que le test de Monte Carlo. Cette approche a conduit à des classes de stocks de carbone. Après l'ensemble du processus, des graphiques ont été réalisés (*box-plots*) entre les variables et les classes de stocks de carbone.

Au bout de compte nous avons créé une esquisse spatiale à partir du croisement des données en tenant compte des classes de stock de carbone, de texture et le type d'occupation des sols.

Conclusion de la partie 1

Selon l'état des connaissances actuelles, le contrôle du changement climatique via le stockage de carbone dans les sols et la biomasse est lié au scénario forestier, avec la nécessité d'améliorer ou de développer de nouvelles techniques pour quantifier ces services environnementaux. Leur estimation économique réelle permettrait également de développer et/ou de perfectionner des mécanismes de compensation pour que les propriétaires de forêts naturelles puissent bénéficier des pratiques de conservations appliquées au reste de leurs forêts (Sanquetta *et al.* 2012).

Il existe aujourd'hui des propositions internationales qui peuvent contribuer à la stabilisation des niveaux d'EGES, comme par exemple le mécanisme de REDD (Réductions des Émissions par Déforestation et Dégradation). Au Brésil, Souza (2007) a présenté un rapport pour expliquer les mécanismes prévus par le Protocole de Kyoto et pour exposer les avantages concurrentiels dont bénéficierait le pays en termes d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ et autres GES. L'auteur montre également ce qui est développé dans le pays en termes de projets de commercialisation de crédits de carbone comme la conception de la banque BM & F (*Bolsa de Mercado e Futuro do Estado de São Paulo*) ou encore des projets qui sont déjà achetés et vendus sur les marchés internationaux tels que dans le *Chicago Climate Exchange*. Pour Walter et Coltri (2009), le calcul des stocks de carbone et des EGES du projet MDP forestier devra fixer une méthodologie permettant de définir la « ligne de base » approuvée par le conseil exécutif du MDP.

Réduire les émissions s'avère évidemment la politique la plus durable pour lutter contre l'accumulation atmosphérique de GES due aux activités humaines, qui est considérée de plus en plus unanimement comme responsable du changement climatique en cours et futur. Mais dans le cas du CO₂, des alternatives possibles consistent à accroître le rôle de puits que joue le stockage du carbone dans la biomasse. La fixation du carbone dans les sols et dans les écosystèmes terrestres peut contribuer à atténuer le changement climatique et à promouvoir la sécurité alimentaire en optimisant la production agricole et l'efficacité des intrants. L'adoption de bonnes gestions agricoles permet de fixer le carbone dans les sols, mais la quantification d'un tel processus est soumise à de nombreuses contraintes et doit faire l'objet de méthodes rigoureuses. Il s'agit donc maintenant de présenter la région d'étude où seront appliquées ces méthodes de suivi et notamment le contexte géographique et la dynamique d'utilisation des sols.

Partie 2

Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.

Introduction de la Partie 2.

Chapitre 4. Le contexte régional.

Chapitre 5. Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés.

Chapitre 6. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011 marquées par un recul de la forêt.

Conclusion de la Partie 2

Introduction de la partie 2

La région amazonienne en raison de sa surface, est composée d'une mosaïque complexe de l'environnement définie non seulement par la diversité de ses écosystèmes mais aussi par le processus d'occupation et le développement (Le Tourneau, 2004 ; Droulers, 2004 ; Théry, 2005) .

Dans les différentes régions amazoniennes où la déforestation est importante, la dynamique de l'utilisation des terres possède un historique des caractéristiques variés. Différents types d'usages des sols existent, produisant un large éventail de configurations spatiales qui varient selon la région. La caractérisation de l'occupation des sols dans les domaines d'études inclut la connaissance des principaux acteurs et des facteurs physiques et socio-économiques impliqués dans la transformation de la couverture végétale et l'utilisation des terres. Cela nécessite une analyse diachronique permettant de reconstruire les trajectoires d'utilisation des terres et d'identifier les principaux facteurs qui expliquent ces trajectoires. Parmi les facteurs les plus importants, il faut prendre en compte les facteurs physiques comme le relief, le drainage, les sols et la couverture végétale et les facteurs socio-économiques comme l'accès aux routes, les noyaux urbains, le contexte socio-économique, technique et financier, la gestion, la disponibilité en main-d'œuvre.

L'occupation des sols est une description de l'espace qui correspond à l'occupation physique observée de la surface terrestre, c'est-à-dire ce qui recouvre le sol (Eurostat, 2000). Les changements d'occupation des sols participent aux changements globaux en modifiant les relations entre l'atmosphère et la surface terrestre. La déforestation, l'agriculture et l'étalement urbain en sont les causes principales en provoquant des changements majeurs sur les processus de contrôle des écosystèmes. Le rôle de l'humanité est donc significatif, mais les facteurs intervenant sur les mutations d'utilisation des sols sont complexes. Il s'ensuit une nécessité de détecter et suivre ces changements, mais les méthodes pour y parvenir sont nombreuses.

Parmi les différentes méthodes d'étude d'occupation des sols, la télédétection permet l'analyse multi-temporelle ou spatio-temporelle visant à la surveillance et au suivi des processus de changement (Dubreuil *et al.* 2010 ; Oszwald *et al.* 2012 ; Corgne, 2014). Elle implique des comparaisons entre les changements opérés dans le temps et l'espace par l'occupation des sols. Nous avons choisi cette méthode pour l'étude des dynamiques d'occupation des sols des trois exploitations.

Dans cette partie, après avoir présenté le contexte géographique de notre étude, on traitera de la thématique de l'occupation et de l'utilisation des sols. Dans cet objectif, nous effectuerons une classification des différents types d'occupation des sols sur les trois exploitations. Ensuite, nous établirons les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011, dans la mesure où plusieurs études ont montré l'importance de ces dynamiques pour comprendre la quantité de carbone présente dans les sols.

Chapitre 4

Le contexte régional

Chapitre 4 – Le contexte régional

Introduction du chapitre 4

Les exploitations agro-forestières sur lesquelles ont été menées les études de stockage du carbone se situent sur les communes de Cotriguaçu et Juruena au Nord-ouest du Mato Grosso, dans le bassin versant du Rio Juruena. Celui-ci s'étend sur un ensemble de plateaux désignés sous le nom de « *Plateaux du Nord du Mato Grosso* » situés dans la partie aval du bassin de l'Amazonie, en rive droite du fleuve. Le Rio Juruena et le Rio Teles Pires en se rejoignant forment le Rio Tapajós qui rejoint l'Amazonie à Santarém en traversant de larges plaines.

Ce réseau hydrographique s'encaisse plus ou moins dans les grands plateaux et donnent leurs caractéristiques plus ou moins accidentées aux paysages des secteurs étudiés.

Les exploitations de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa, sur la commune de Juruena, sont localisées en rive gauche du Rio Juruena, immédiatement en amont de sa confluence avec son premier gros affluent de rive droite, le Rio Arinos. La Fazenda São Nicolau, sur la commune de Cotriguaçu, est à une dizaine de kilomètres en aval, en rive gauche du Rio également. Bien que distantes l'une de l'autre, elles possèdent des caractères physiques communes mais aussi des spécificités en relation avec des facteurs locaux.

Dans ce chapitre nous resituons les exploitations agro-forestières dans leur contexte environnemental naturel commun, avant d'exposer leurs caractéristiques spécifiques.

4.1. Le contexte régional

A l'échelle régionale, les communes de Cotriguaçu et Juruena se situent dans la partie inférieure des vastes plateaux s'inclinant depuis les hauteurs de la Chapada dos Parecis au Sud vers 700 m d'altitude à la plaine alluviale de l'Amazonie au Nord située à une quarantaine de mètres. Ils correspondent à l'unité de relief la plus étendue du Nord de l'Etat de Mato Grosso et se subdivisent en deux unités. Au sud, ces plateaux sont découpés en lanières allongées selon une direction méridienne par un réseau hydrographique dense et encaissé; vers le Nord ils font place à la *Dépression Inter-plateaux de l'Amazonie Méridionale* de Melo et Franco (1980). Celle-ci s'étend sur les bassins inférieurs du Rio Juruena et du Rio Teles Pires et elle est caractérisée par des formes essentiellement convexes, avec des altitudes allant de 100 à 300 mètres, constituant de bas-plateaux très disséqués. Le secteur étudié se situe à la limite entre les deux unités.

En amont de la confluence avec le Rio Arinos, à quelques kilomètres au Sud de Juruena, le bassin versant du Rio Juruena auquel appartiennent les sites étudiés, est caractérisé par une forme ovale. Il est délimité dans sa partie amont par la *Chapada dos Parecis*, à l'Ouest par la Serra do Norte et à l'Est par la Serra dos Caiabis, ces deux serras constituant deux interfluvies se raccordant à la Chapada. Large d'environ 400 km dans sa partie amont, il est drainé par un grand nombre de cours d'eau prenant naissance dans la *Chapada dos Parecis* et ayant tous une direction méridienne, donnant un caractère parallèle au réseau hydrographique. En aval de la confluence avec le Rio Arinos, le bassin versant se rétrécit en largeur et ne dépasse pas 150 km jusqu'à sa confluence avec le Rio Teles Pires (Figure 4.1). Sur cette section, il est délimité à l'Ouest par deux serras étroites de faible altitude dans le prolongement de la Serra do Norte (les *Serras do Pacutinga et do*

Sucunduri) et à l'Est par la *Serra dos Apiacás*. Dans ce secteur, les affluents sont nombreux et tous très courts et de directions multiples.

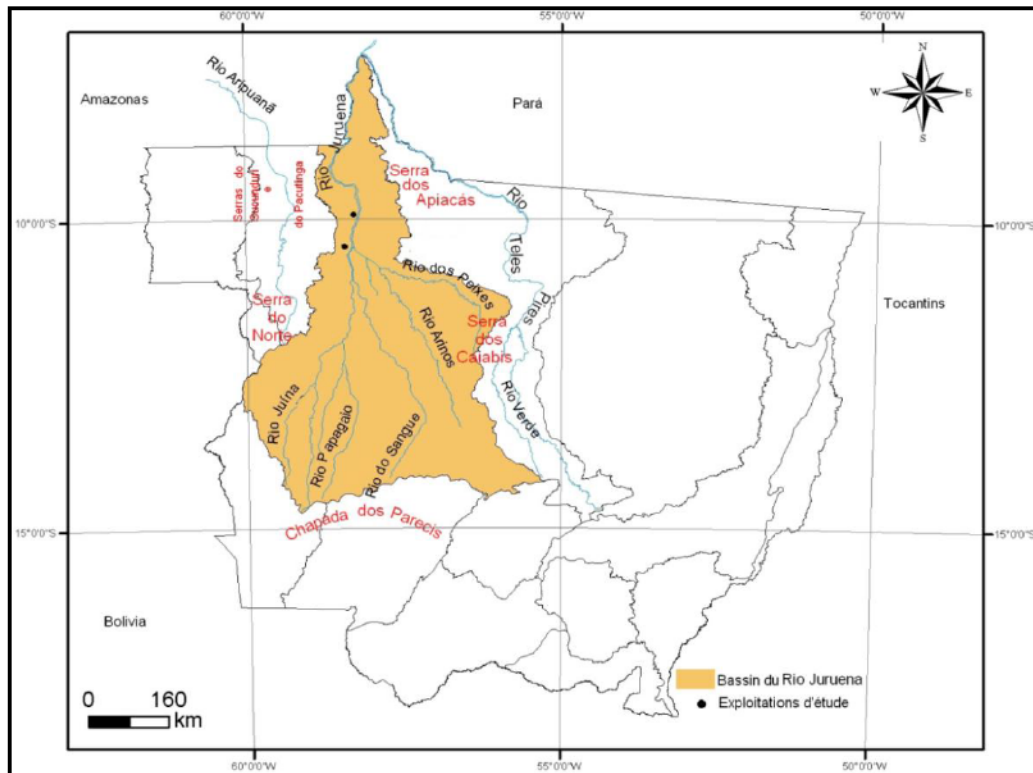


Figure 4.1. Bassin du Rio Juruena à l'Etat de Mato Grosso (*Elaborée par L.-A. Nascimento, mai/2015*).

Le Rio Juruena draine son bassin versant selon un axe pratiquement S–N, avec quelques inflexions locales SW–NE et NE–SW. Après sa confluence avec le Rio Arinos, il prend une largeur considérable, pouvant atteindre 2 km et occupant très largement le fond de sa vallée. Son lit est occupé par des îles aux limites souvent changeantes, parmi lesquelles l'archipel São Nicolau (Photo 4.1).



Photo 4.1. Le Rio Juruena à proximité de la Fazenda São Nicolau où émerge une série d'îles, parmi lesquelles l'Archipel São Nicolau. (*Photographie : L.-A. Nascimento, août 2012*).

Le bassin versant du Juruena se développe sur un substrat géologique ancien, en amont sur des terrains plissés du Protérozoïque, en aval sur le craton amazonien d'âge archéen et protérozoïque. Grossièrement au Sud du 12^{ème} parallèle, le bassin du Juruena est marqué par un climat tropical chaud à saison sèche marqué (3 à 4 mois secs), au Nord par un climat de type équatorial. Ces conditions climatiques favorisent une végétation naturelle forestière qui se développe soit sur des sols évolués de type argisols ou latosols, soit sur des sols peu évolués, peu épais, de type cambisols, lithosols, entre autres, selon Miranda et Amorim (2001). Des études plus fines par des pédologues (Cunha *et al.* 1980 ; EMBRAPA, 1999, 2006 ; Moreira et Vasconcelos, 2007) ont montré un grand nombre de nuances. Actuellement, la mise en valeur agricole des terres engendre la transformation de cette couverture végétale.

4.2. Les caractéristiques physiographiques des sites étudiés

La topographie des exploitations étudiées s'insère dans l'ensemble de bas plateaux, en bordure du Rio Juruena. Leur position amont aval engendre un certain nombre de différences.

La Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer se situent sur l'interfluve entre le Rio Juruena et le Rio Aripuanã, affluent du Rio Madeira. Elles se caractérisent par des altitudes comprises entre 205 - 210 et 305 m (Figure 4.2), soit une amplitude d'une centaine de mètres.

Un large sommet de forme convexe se situe au Sud-ouest (photo 4.2) et il se prolonge vers le Nord par un interfluve étroit avec des altitudes légèrement inférieures, de l'ordre de 280 – 290 m, créant ainsi deux unités, l'une orienté vers le Rio Juruena et exposé à l'Est et l'autre organisé autour du Córrego do Rocha (Figure 4.2), appartenant au bassin versant du Rio Aripuanã. L'ensemble des versants s'organisent à partir de cet interfluve.

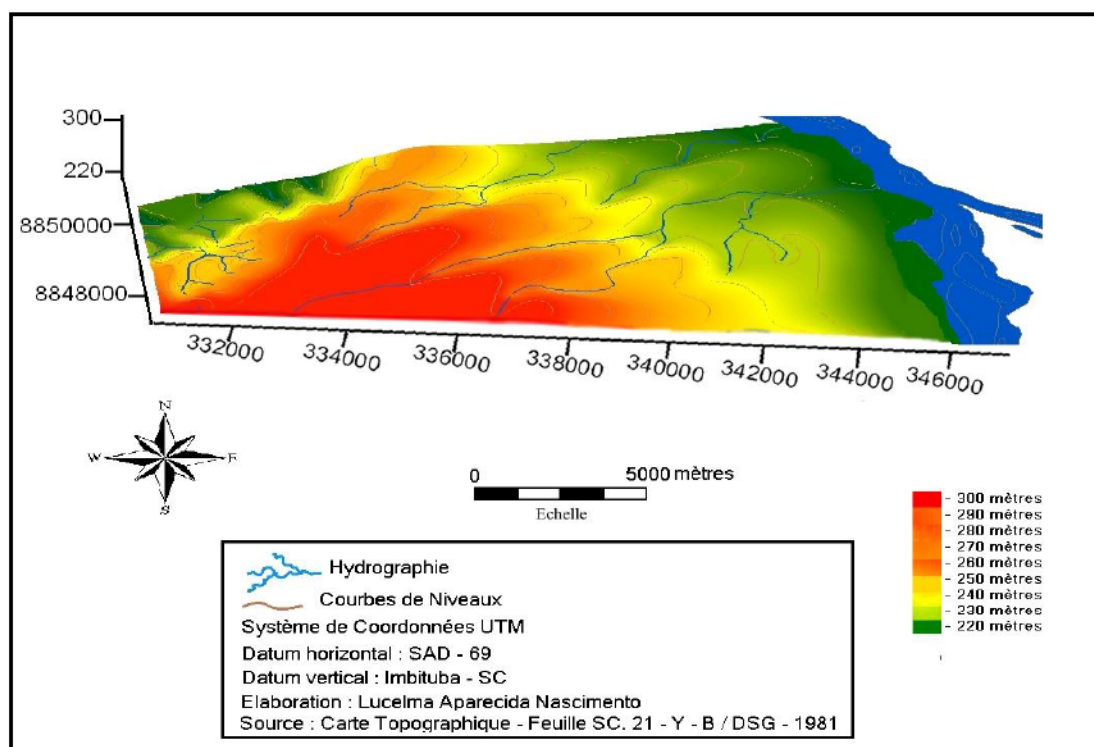


Figure 4.2. Carte Hypsométrique / Modèle Numérique du Terrain de la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer à Juruena.



Photo 4.2. District de Juruena à proximité de la route d'Etat MT-170, au voisinage de la Fazenda Preciosa, Partie sommitale du secteur d'étude
(Photographie : L.-A. Nascimento, août, 2012).

L'Assentamento Vale do Amanhecer occupe le versant est qui s'incline en direction du Rio Juruena dont le fond de vallée se situe à 210 m. Il possède des pentes très modérées et il est découpé par une série de Córregos (Figure 4.3).

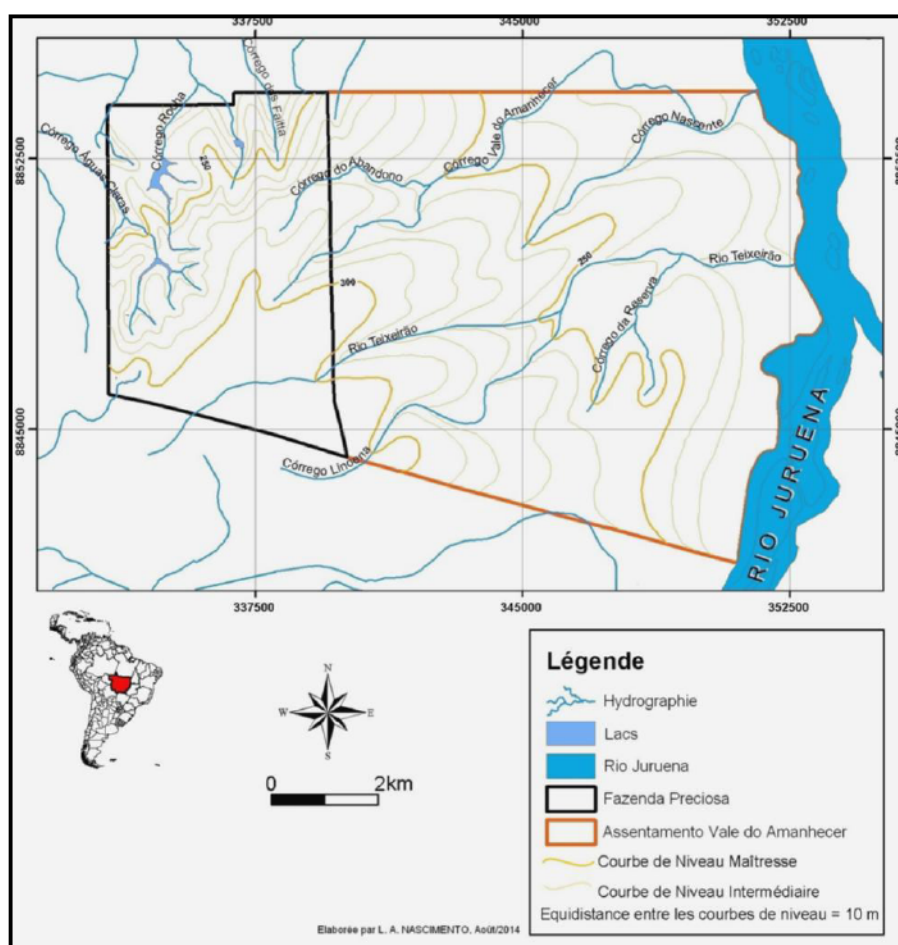


Figure 4.3. Carte hydrographique qui présente le réseau de drainage des affluents du Rio Juruena sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer.

Ces derniers ont une direction SW–NE (Córrego Vale do Amanhecer, Rio Teixeirão et ses affluents les Córregos Linoena et da Reserva). Encaissés de 20 à 30 m dans le versant, ces cours d'eau s'écoulent dans des vallées aux versants convexes et à fond plats et étroits. Ce dernier ne s'élargit qu'en dessous de 230 m, à proximité du Rio Juruena. Le versant est se raccorde à une plaine alluviale étroite.

La Fazenda Preciosa occupe largement le sommet convexe dans sa partie Est. Sa partie Ouest constitue le haut bassin versant du Rio Aripuanã avec trois principaux Córregos et leurs petits affluents qui forment un chevelu dense et encaissé. L'ensemble de cette partie ouest se caractérise par de fortes pentes avec de nombreux affleurements rocheux (Photo 4.3).



Photo 4.3. Les hauts sommets à l'Ouest de la Fazenda Preciosa
(Photographie : L.-A. Nascimento, juillet 2013).

Sur la Fazenda São Nicolau (Figure 4.4), les altitudes sont comprises entre 200 et 300 m, mais la majorité des reliefs se situent entre 200 et 250 m. La configuration topographique est plus complexe que précédemment et la topographie s'organise autour de deux sommets, l'un à l'Ouest a une altitude de l'ordre de 270 m, celui situé à l'Est culmine à 300 m.

A l'Ouest de la fazenda, le sommet à plus de 270 m forme un premier relief isolé qui se caractérise par des pentes élevées et de nombreux affleurements rocheux, souvent sous forme de boules à moitié enfouies (Photo 4.4).



Photo 4.4. Affleurements rocheux en forme de boules sur le sommet du relief à l'Ouest de la Fazenda São Nicolau
(Photographie : L.-A. Nascimento, juillet 2012).

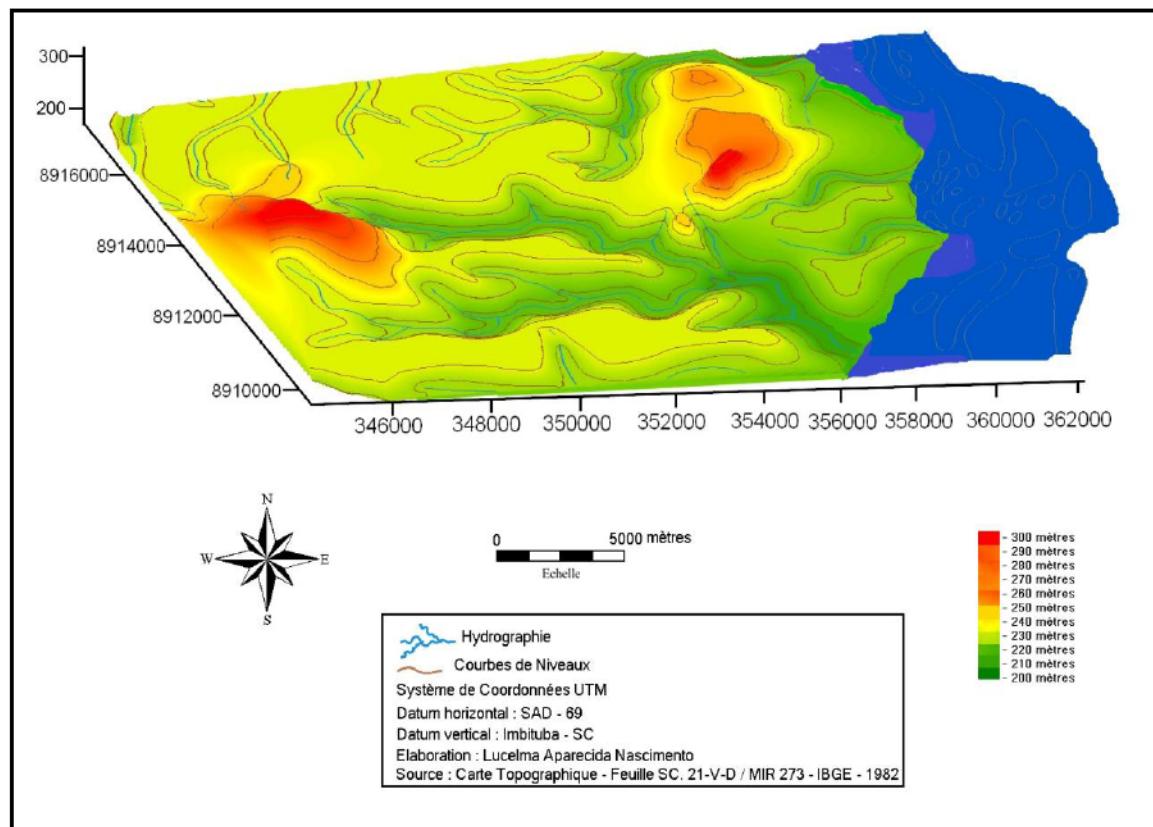


Figura 4.4. Carte Hypsométrique / Modèle Numérique de Terrain de la Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu). (L.-A. Nascimento, 2014).

Un second relief, à l'Est de la Fazenda, à proximité du Rio Juruena, constitue un interfluve de direction Sud – Nord, entre le rio et un de ses petits affluents, le Córrego Teca. A l'extrémité sud de l'interfluve, on note l'existence d'un relief grossièrement pyramidal à pentes très fortes qui sur le terrain se révèle formé d'affleurements rocheux. Il domine l'interfluve, au sommet très régulier, situé autour de 260 – 270 m, et de pente générale très faible en direction du Nord.

De larges interfluves très laniérés se raccordent à ces deux reliefs. Ils constituent une surface située aux environs de 230-250 m d'altitude et dans laquelle s'encaisse un réseau hydrographique dense tributaire du Rio Juruena (Figure 4.5). Vers l'Ouest, la majorité des interfluves dominant directement le fleuve.

L'encaissement de 20 à 30 m engendre des vallées aux versants convexes et à fond étroit dans leurs parties amont, et de plus en plus large vers l'aval. Trois petits bassins versants se développent : dans la partie Sud, le bassin du Córrego da Fazenda et de ses affluents, au Nord-est le bassin du Córrego Teca et au Nord-ouest, la tête de bassin d'un affluent aval du Juruena. Les principaux cours d'eau prennent naissance au pied du relief Ouest (les Córregos das Pastagens et da Fazenda) tandis que le Córrego Teca et les cours d'eau de la tête de bassin Nord-ouest prennent naissance sur le rebord de la surface à 250 m. Seul le Córrego São Nicolau prend sa source au pied du relief pyramidal Est. Ces vallées sont occupées par un réseau hydrographique (cf. Figure 4.5) à caractère dendritique avec deux directions principales, l'une W–E et l'autre grossièrement méridienne. A proximité du Rio Juruena, l'encaissement diminue et les cours d'eau rejoignent directement le fleuve. Ces petits cours d'eau sont abondamment alimentés par les eaux de sources et de pluie et ne connaissent à la saison sèche que des basses eaux relatives.

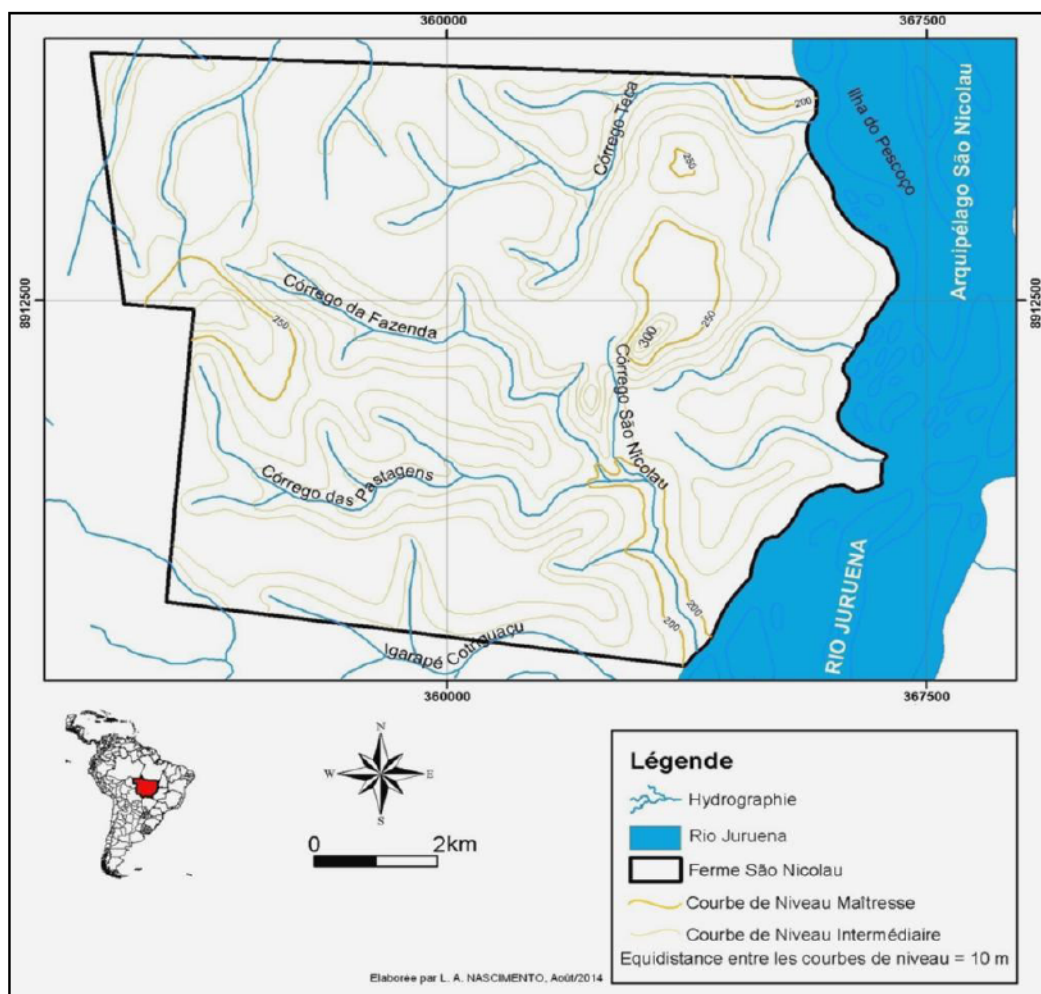


Figure 4.5. Carte hydrographique de la Fazenda São Nicolau. Nous pouvons remarquer aussi, dans le lit du Rio Juruena, une partie de l'Archipel São Nicolau (L.-A Nascimento, 2014).

4.3. Le Substrat géologique

Du point de vue géologique les terrains des Fazendas São Nicolau et Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer sont constitués par des séquences lithologiques du Précambrien (Paléoprotérozoïque Inférieur), par du Tertiaire, peu représenté, et des alluvions récentes dans les fonds des vallées. Les auteurs des cartes géologiques publiées par la CPRM entre 1991 et 2011 (Lacerda Filho *et al.* 2004 ; Frasca e Borges, 2004 ; Ribeiro et Vilas Boas, 2004 ; Souza *et al.* 2005 ; Souza et Abreu Filho, 2007 ; Albuquerque et Oliveira, 2007 et Duarte *et al.* 2011). Hugo Silva *et al.* (1974 et 1980) (Projets RADAM et RADAMBRASIL) ; Schobbenhaus *et al.* 1984 (DNPM) et Bittencourt Rosa *et al.* (2006, 2012, 2013) (UFMT) montrent que les séquences sont représentées par les roches des unités suivantes : « Complexe Nova Monte Verde » et « Suite Intrusive São Romão » du Domaine Juruena, les Couvertures Détritiques – Latéritiques Ferrugineuses – Elúvio-Colluviales et Alluvions Récentes appartenant au Cénozoïque.

Sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 4.6), le substrat est constitué de la « Suite Intrusive São Romão » (Domaine Juruena) dont l'âge est estimé à 1770 Ma par datation U-Pb (Paléoprotérozoïque). Selon Frasca et Borges (2004) et Ribeiro et Villas Boas (2004) cette unité lithostratigraphique est constituée d'une séquence de roches granitiques intrusives qui affleurent sur la Fazenda Preciosa.

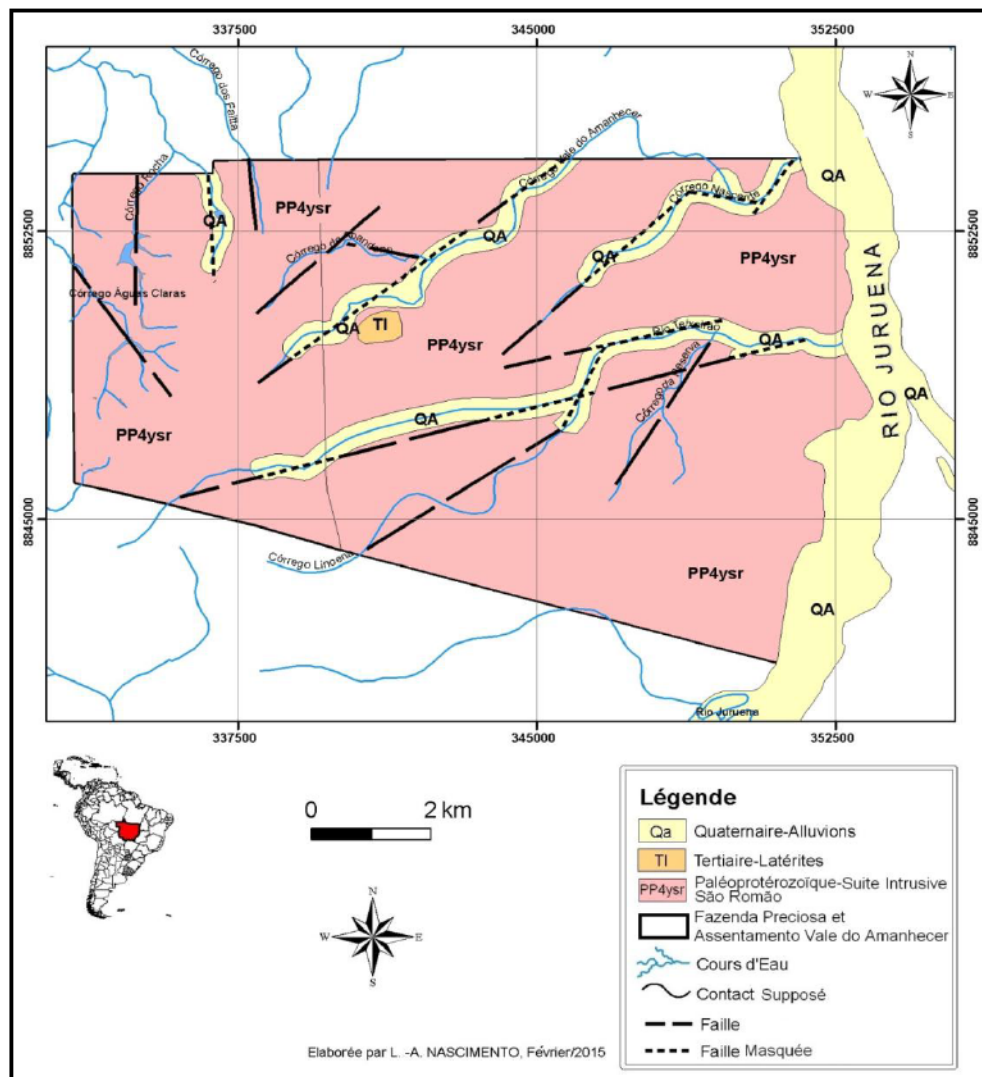


Figure 4.6. Carte géologique de la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer (Modifiée à partir des données de la CPRM, 2004a, 2011 ; l'IBGE, 2009 et SEPLAN 2011).

Selon ces auteurs, ces roches qui étaient reconnues comme Granite Juruena par Hugo Silva *et al.* (1974) ont été individualisées comme « Suite Intrusive São Romão » par des données structurales, lithochimiques et géochronologiques distinctes et qui appartiennent au Domaine Juruena. Cette série est affectée par quelques failles. Elle est constituée de granites fins à biotites et de microgranites, auxquels s'associent quelques gisements de granodiorites (Photo 4.5).



Photo 4.5. Affleurements de roches granitiques de la « Suite Intrusive São Romão » sur les sommets de la Fazenda Preciosa (Photographie L.-A. Nascimento, 2012).

Sur la Fazenda de São Nicolau (Figure 4.7), le substratum géologique appartient au « Complexe Nova Monte Verde » daté du Paléoprotérozoïque (1774 Ma, par datation U-Pb). Il est constitué par un ensemble de roches métamorphiques, gneissique et migmatitique.

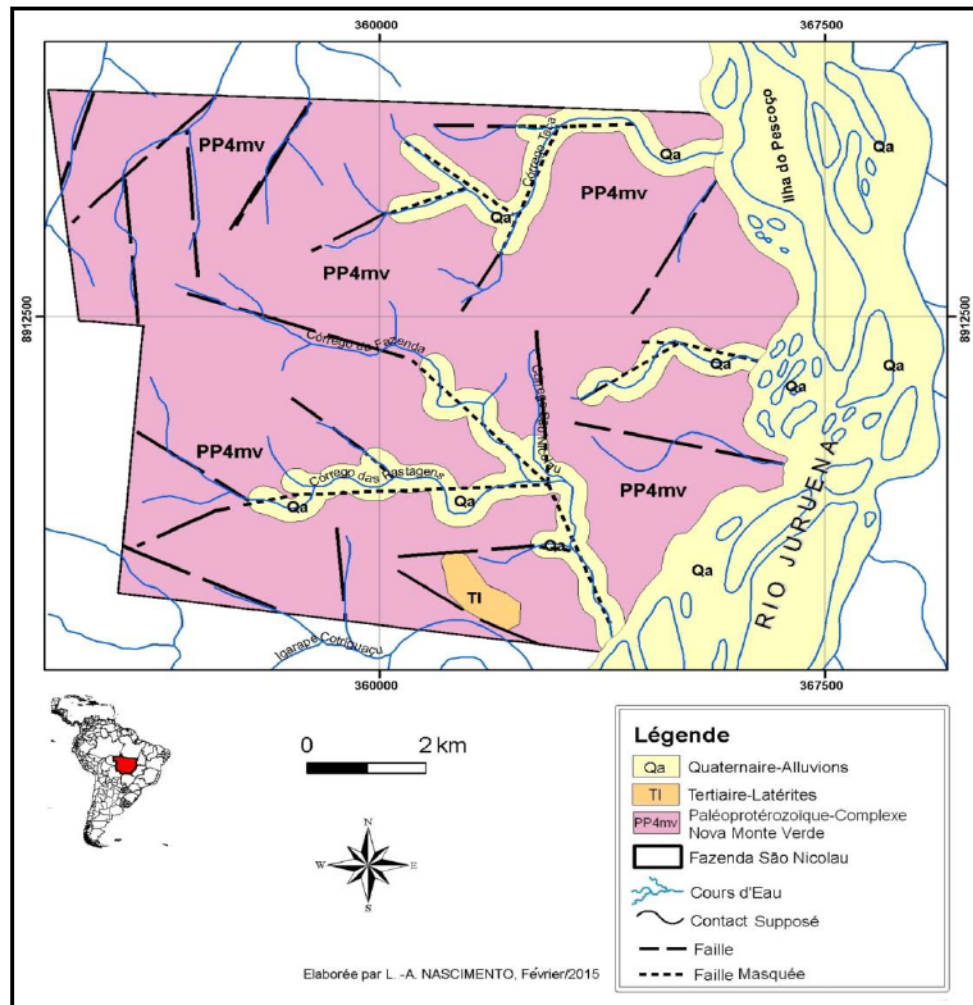
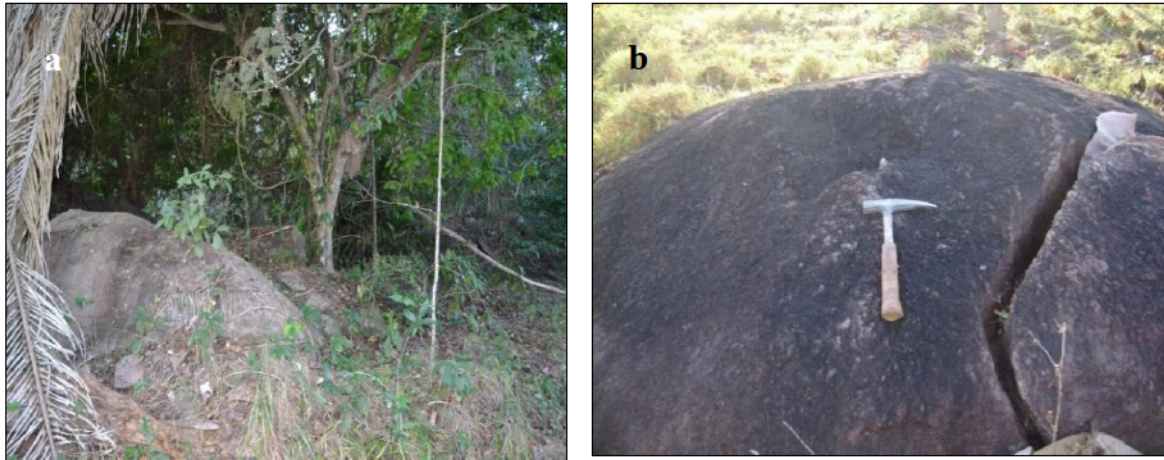


Figure 4.7. Carte géologique de la Fazenda São Nicolau, où affleurent les roches appartenant au Complexe Nova Monte Verde (Modifiée à partir des données de la CPRM, 2004a, 2011 ; l'IBGE, 2009 et SEPLAN 2011).

A l'échelle régionale, elles se présentent sous forme de bandes orientées E–W à WNW–ESE, pouvant atteindre 30 km de large. Elles ont été décrites par Frasca et Borges (2004) ; Ribeiro et Vilas Boas (2004) dans le Projet Alta Floresta, pendant les travaux de levés géologiques de la CPRM (2004a).

Ces roches sont principalement orthodérivées de composition tonalitique monzogranitiques et syénogranitiques. Elles se caractérisent par la présence d'enclaves de xénolites, d'amphibolite et de diorite. Parmi les grands types de roches métamorphiques présentes sur le secteur d'étude, on distingue les gneiss et les migmatites. Plusieurs types de gneiss ont été identifiés en fonction de leur composition minéralogique : les gneiss à biotite de composition granitique, les gneiss à hornblende de composition dioritiques, les gneiss à grenat. Les migmatites sont issues de la fusion partielle de roches intrusives et sont trouvées de manière éparse.

Ces roches ont été identifiées sur le terrain comme des migmatites granitoïdes. Ces roches affleurent essentiellement en dalles et boules éparses quelquefois brisées, (Photos 4.6 a et b) et sont prédominants dans les terrains de la Fazenda São Nicolau.



Photos 4.6. a : Boule de gneiss granitiques du « Complexe Nova Monte Verde » en semi-affleurement. Sommet de la Fazenda São Nicolau ; **b.** Détail d'une boule de gneiss granitique du « Complexe Nova Monte Verde ». Fazenda São Nicolau (Photographies : L.-A. Nascimento, 2012).

Les formations superficielles d'âge Tertiaire reposant sur le substrat Précambrien ne sont représentées que par des placages de dimension restreinte sur l'un et l'autre site d'étude et sous la dénomination TI (Cf. Figures 4.6 et 4.7). Elles sont désignées sur la carte géologique du Mato Grosso sous la dénomination « Couvertures Détritiques-Latéritiques Ferrugineuses ». Ces formations, issues du dépôt des produits de l'ablation d'une couverture latéritique, présentent des faciès très divers. Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, un dépôt de ce type a été reconnu sur la bordure nord de l'interfluve entre le Córrego Vale do Amanhecer et le Rio Teixeira vers 280-290 m d'altitude. Il est essentiellement composé de sables quartzes et de concrétions ferrugineuses. Sur la Fazenda São Nicolau, un gisement de ce type a été reconnu au Sud-est de l'exploitation (Photo 4.7), à 230-235 m d'altitude, sur la surface constituant l'interfluve entre le Córrego das Pastagens et l'Igarapé Cotriguaçu. On y reconnaît des sédiments sableux quartzes, avec des intercalations d'argilites, de siltites et de dépôts concrétionnés.



Photo 4.7. Dépôt ferrugineux de la Couverture Détritico-Latéritique Ferrugineuse du Tertiaire sur la Fazenda São Nicolau (Photographie : D. Bittencourt Rosa, 2012).

Le Quaternaire connu dans ce secteur est représenté par les alluvions actuelles qui sont largement formées par des sables et limons. Ces sédiments se retrouvent abondamment sur les bords et dans le lit du Rio Juruena. Essentiellement sableux, ils comblent les fonds de vallée des Córregos affluents dans leurs parties aval et médiane.

4.4. Le Climat

Dans la région étudiée, le rythme saisonnier, selon Dubreuil (2005), Tarifa et Sette (2012), se caractérise par l'opposition entre la saison sèche (centrée sur le mois de juillet) et pluvieuse qui s'étale de décembre à mars au Sud du Bassin Amazonien. A la station de Cotriguaçu de l'INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), située à 200 m d'altitude, les données (Tableau 4.1) indiquent bien un climat tropical humide, avec quatre mois secs, mai, juin, juillet et août. Les précipitations annuelles sont de 1976 mm (sur la période 2005 à 2014), avec une abondance maximale de décembre à mars, le mois de janvier est le plus arrosé avec une moyenne de 350 mm.

La température moyenne est de 24,9°C, l'amplitude des températures moyennes annuelles est faible avec un minimum de juillet (23,8°C) et un maximum de septembre (25,7°C). Les températures moyennes minimales mensuelles sont de 15,1°C en juillet et de 18,4°C en septembre tandis que les températures moyennes maximales mensuelles sont pour ces mêmes mois de 32,6°C et de 33°C.

Tableau 4.1. Moyennes des températures et précipitations mensuelles à la station de Cotriguaçu entre 2005 et 2014.

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mm	316	278	234	115	21	15	1	37	83	143	189	243
°C	27.2	26.7	26.8	26.9	25.1	26.76	24.6	25.8	26.9	32.8	27.1	26.7
°C (min)	16.9	20.0	20.3	18.3	15.5	13.2	11.5	12.2	13.2	16.9	17.7	19.9
°C (max)	35.1	32.4	32.9	33.4	33.5	34.0	35.4	36.8	37.9	37.7	34.2	32.8

Les mois les plus arrosés vont de décembre à mars, et totalisent environ 60 % du total annuel. L'ensemble de la saison humide quant à elle reçoit environ 85 à 90 % du total annuel. Ces caractéristiques climatiques permettent le développement d'une couverture végétale abondante mais dont les faciès et la distribution sont aussi à mettre en relation avec la topographie et la nature des sols ou du substrat.

4.5. La Végétation

Les exploitations étudiées possèdent une diversité de couvertures végétales. Elles se différencient par leur physionomie et les espèces qui la composent. Deux types d'espaces contribuent à donner leurs caractères aux paysages végétaux : les espaces forestiers et les espaces ouverts.

4.5.1. Les espaces forestiers

Les formations forestières présentent plusieurs faciès : des forêts denses, élevées et anciennes, des forêts denses secondaires et les capoeiras ou formation arborée secondaire en voie de formation. (Loureiro *et al.* 1982, Prado, 2000 et Nascimento *et al.* 2014).

Les Forêts hautes, denses, anciennes, constituent une couverture végétale présente régionalement. On peut les trouver sur les collines et plateaux sur sols bien drainés ou encore sous forme de forêt alluviale dans les fonds de vallée ou sur la plaine inondable du Rio Juruena. (Photo 4.8).

Ces forêts sont constituées par une strate arborée élevée de 30 à 40 mètres, certains individus pouvant atteindre 50 à 60 m, constituant la « canopée forestière émergente » à caractère semi-décidu. L'étage inférieur est très dense et constitué d'arbres, d'arbustes, de lianes et de buissons. Elle possède un nombre élevé d'espèces arborées de grande taille comme la Castanheira do Pará (*Bertholetia excelsa*, HBK.) (Photo 4.9). Cet arbre est le plus représentatif de cette formation et il peut atteindre 60 mètres de hauteur. D'autres espèces s'y associent comme le Mogno (*Swietenia macrophylla*, King.), le Jutai (*Acrocarpus fraxinifolius*, Wight & Am.), le Cedro (*Cedrella odorata*, L.), la Copaíba (*Copaifera oblongifolia*, Desf.), le Jequitibá [*Cariniana brasiliensis*, (Mart), Kunth.], la Sumaúma [(*Ceiba pentrandia*, (L.) Gaertn.), l'Açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.), l'Andiroba (*Carapa guianensis*, Aubl.), la Figueira Branca (*Ficus guaranitica*, Sp.), la Caixeta [*Simarouba amara*, (Aubl.) Willd.], la Muirapixuna (*Cassia scleroxylon*, Ducke.), le Louro preto [*Licana cannelli* (Meissn) Kosterm.], le Buriti [*Mauritia flexuosa* (vinifera), L. f. (Constituent les veredas même dans les forêts hautes et basses)], le Pau de bicho (*Tapura singularis*, Ducke.), la Mutamba (*Guazumia ulmifolia*, L.), la Canelarana (*Alchorneopsis floribunda*, Muell. Arg.), parmi d'autres. La présence de la majorité de ces espèces dans l'ensemble des strates forestières montrent que cette forêt est dans son climax.



Photo 4.8. Forêts alluviales sur les rives du Rio Juruena dans le secteur Sud Est de la Fazenda São Nicolau (Photographie : L.-F. de Figueiredo, 2012).



Photo 4.9. Une « Castanheira do Pará » (*Bertholetia excelsa*, HBK.), à la limite de la Fazenda Preciosa. (Photographie : L.-A. Nascimento).

Les forêts denses secondaires sont composées d'arbres dont la taille varie entre 20 et 30 m. Dans ces forêts sont incluses des espèces comme le Babaçu [*Orbygnia martiana*, (Mart.) Barb. Rodr.], le Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia*, D. Don.), l'Ipê branco [Tabebuia roseo-alba (Ridley) Sandwith.], l'Ipê rosa (*Tecoma impetiginosa*, Mart.),

l'Urucum (*Bitxa orellana*, L.), la Cajazeira (*Spondias mombin*, L.) la Escova de macaco (*Combretum fruticosum*, Htm.), le Gonçalves (*Astronium fraxinifolium*, Schot.) et le Freijó (*Cordia goeldiana*, Huber.). S'associent un grand nombre d'espèces représentées par des individus de toutes tailles entrant dans la composition du sous-bois. S'y ajoutent de nombreuses herbacées, des lianes et des épiphytes (Photo 4.10).



Photo 4.10. Strate arborée d'une forêt secondaire au Sud-est de la Fazenda São Nicolau (Photographie : L.-A. Nascimento, 2012).

La « *Capoeira* » est une formation boisée secondaire. Elle est reconnue comme une reprise forestière après la destruction de la couverture végétale primitive par des interventions humaines, pour une utilisation à des fins agricoles ou d'élevage et après abandon de ces activités. Le terme vient d'un mot « *tupi* » qui désigne la brousse qui s'est développée après une coupe de forêt. Il signifie littéralement «forêt du passé » par « *ka'a* » (« kill ») et « *uera* » (« passé ») (Ferreira, 2002).

Cette formation végétale est une forêt claire constituée d'arbres de toutes tailles, d'une dizaine de mètres maximum, au sous-bois abondant mais restant pénétrable, composé d'arbustes épars et au sol de graminées (Photos 4.11).



Photos 4.11. a. Parcelle en Capoeira dans l'Assentamento Vale do Amanhecer (Photographie : L.-A. Nascimento, 2012).

b. Vue de l'intérieur d'une parcelle en Capoeira dans l'Assentamento Vale do Amanhecer (Photographie : L.-A. Nascimento, 2012).

Parmi les espèces ligneuses reconnues dans la capoeira, on note la présence de Babaçu [*Orbygnia martiana*, (Mart.) Barb. Rodr.], de l'Ipê branco [*Tabebuia roseo-alba* (Ridley) Sandwith.], de l'Ipê rosa (*Tecoma impetiginosa*, Mart.), de l'Urucum (*Bitxa*

orellana, L.), de la Cajazeira (*Spondias mombin*, L.), de la Escova de macaco (*Combretum fruticosum*, Htm.), du Gonçalves (*Astronium fraxinifolium*, Schot.), le Jamelão (*Syzygium cumini* (L) Skeel.) et du Freijó (*Cordia goeldiana*, Huber.).

4.5.2. Les espaces ouverts

Ils sont constitués par les pâturages et les cultures.

Pâturages avec ligneux ou campos sujos et les pâturages ou campos limpos. Ces pâturages correspondent aux secteurs où la couverture végétale est représentée par la dominance de différentes espèces de graminées. Les campos sujos sont piquetés d'arbres et arbustes épars pouvant fournir de l'ombre aux animaux (Photos 4.12 et 4.13) en opposition aux campos limpos uniquement constitués de graminées.

Dans les pâturages avec ligneux, on reconnaît des espèces arborées comme la Figueira Branca (*Ficus guaranítica*, Sp.), l'Embaúba (*Cecropia pachystachya*, Mig.), espèce qui selon Pavan-Fruehauf (2000) appartient aux plantes pionnières de la Mata Atlântica et qui ici a été introduite dans le cadre de reimplantations. Une autre espèce reconnue comme invasive est le palmier Babaçu [*Orbygnia martiana*, (Mart.) Barb. Rodr.].

Dans l'ensemble des pâturages nous trouvons des graminées telles que : le Capim Mimoso (*Paratheria prostrata*, Griseb.) et le Capim Branco Felpudo (*Andropogon neesi*, Kunth.), le Capim Barba de Bode (*Aristida pallens*, Cav.) et le Capim Gordura (*Panicum mellinis*, Trin.). D'autres types de graminées plus hautes sont trouvés. Ce sont le Capim Colônia (*Panicum maximum*, Jacq.), le Capim Braquiária (*Brachyaria decumbens*, Stapf.), le Capim Jaraguá [*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf.] et le Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.).



Photo 4.12. Exemple de pâturages avec ligneux. (Photographie : L.-A. Nascimento, juillet 2012).

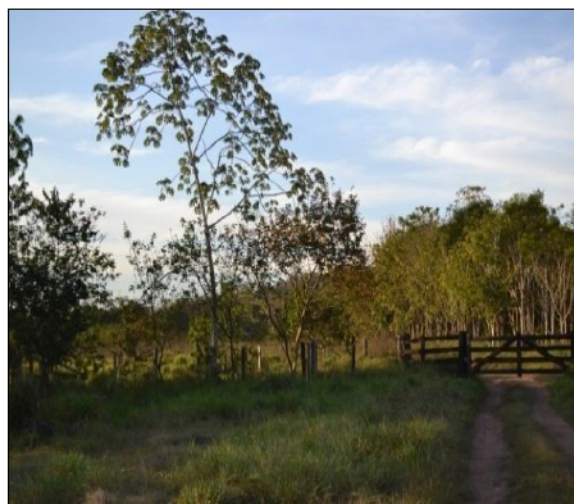


Photo 4.13. « Embaúba » sur pâturages ligneux de la Fazenda São Nicolau (Photographie : C.-M. do Nascimento Bittencourt Rosa, juillet 2012)

Les parcelles cultivées. Elles sont occupées par des cultures annuelles ou saisonnières de légumineuses comme les haricots, des céréales (maïs, riz) et du manioc. Elles sont associées à la culture des arbres fruitiers comme le coco (*Cocos nucifera*, L.), le

café (*Coffea arabica*, L.), (Photo 4.14), la papaye, le palmier « pupunha » (*Bactris gasipaes*, Kunth.), ainsi que les bananes, oranges, mangues, jamelões, citrons, entre autres.

Dans les secteurs déboisés de la Fazenda São Nicolau on trouve des plantations spécifiques dans le cadre de leur stratégie de reboisement, comme celle d'« Embaúbas » (*Cecropia pachystachya*, Mig.) et de Teca (*Tectona grandis*, L. f.) (Photo 4.15), arbre reconnu pour son intérêt pour la fabrication des meubles et l'industrie navale.



Photo 4.14. Plantations de cocos et de caféiers dans l'Assentamento Vale do Amanhecer (Photographie : J.-E. Cassiano, juillet 2012).



Photo 4.15. Détails des plantations de « Tecas » dans les terrains de la Fazenda Preciosa (Photographie : L.-A. Nascimento, juillet 2012).

4.6. Les Sols

A l'échelle régionale, de nombreux sols ont été reconnus et se retrouvent sur les exploitations agro-forestières étudiées. Il s'agit soit de sols caractéristiques des régions tropicales comme les argisols, les latosols, les sols concrétionnés, ou de sols peu évolués, azonaux (néosols régolithiques ou régosols, lithosols ou entisols, sols sablo-quartzeux ou Quartzipsamments et organosols ou histosols sur alluvions). De façon générale, la répartition des différents types de sol est très complexe et la cartographie par l'EMBRAPA (1999) montre l'existence d'une mosaïque de sols juxtaposés issue de l'évolution quaternaire régionale.

4.6.1. Les sols tropicaux

Dans les secteurs étudiés, ils sont représentés par les argisols et les latosols, les sols concrétionnés étant plus limités.

Les argisols anciennement dénommés « podsols rouges-jaunâtres – *podzólicos vermelho-amarelados* », correspondent aux alisols de la classification FAO ou encore aux ultisols et une partie des alfisols de la classification américaine (USDA-*Soil Survey Staff*, 2006). Sur les exploitations étudiées, ils se sont développés sur les manteaux d'altération des formations géologiques du craton amazonien, à dominante siliceuse. De façon générale, on les trouve sur les versants et interfluvés en contrebas des secteurs topographiques les plus élevés.

Généralement profonds (Photo 4.16), ils se présentent, si le profil est complet, sous la forme d'un horizon de surface organique peu épais reposant sur un horizon éluvial,

surmontant un horizon argileux situé à faible profondeur. Toutefois, ils sont souvent tronqués par l'érosion hydrique, l'horizon A plus sableux étant moins stable (Ker *et al.* 1990) et de ce fait l'horizon B affleure. Ces sols possèdent une capacité d'échange cationique (CEC) très faible, les cations échangeables ayant subi une forte lixiviation. En revanche, il existe de fortes teneurs en aluminium échangeable, leur donnant parfois un caractère toxique pour les plantes. Les argisols ont une composition minéralogique dominée, en dehors du quartz résiduel, par la kaolinite et la gibbsite, notamment dans l'horizon argilique. La composition chimique indique toujours de fortes teneurs en Al_2O_3 et de faibles teneurs en Fe_2O_3 . Tous ces caractères en font des sols dystrophiques, naturellement peu fertiles.

Les latosols correspondent aux ferralsols de la Classification FAO ou encore aux oxysoils de la Classification américaine. Il s'agit de sols que l'on trouve dans la plupart des secteurs d'études sur les versants et surfaces en contrebas des sommets rocheux du secteur étudié (Photo 4.17).

Ces sols se caractérisent par leur grande épaisseur et leur teinte rougeâtre. Les latosols présentent des horizons A, B et C peu différenciés, une porosité élevée et une coloration qui varie d'un endroit à un autre (Braun, 1962). De façon générale, l'horizon A peu épais possède une couleur rouge sombre fonction de la teneur en matière organique, l'horizon A₁ ne dépassant pas 20 cm d'épaisseur, généralement avec de faibles teneurs en matière organique. L'horizon B a des couleurs vives allant du rouge au jaune-ocre en fonction de la nature, de la forme et de la quantité d'oxydes de fer, du drainage du sol et des teneurs en fer du matériel d'origine. Dans l'horizon C, la couleur est variable, fréquemment hétérogène, compte tenu de la nature du saprolite à partir duquel il se développe. Les latosols sont bien drainés avec un pH faible, une faible CEC, une composition minéralogique dominée, en plus du quartz résiduel, par la kaolinite et les sesquioxides de fer. Leur composition chimique est marquée par la présence abondante de SiO_2 et Al_2O_3 avec un $\text{Ki} \leq 2,2$ (EMBRAPA, 1999 et 2006).



Photo 4.16. Argisol, au Sud de l'Assentamento Vale do Amanhecer (Photographie : L.-A. Nascimento, novembre 2011).



Photo 4.17. Latosols développés dans un petit relief rocheux au bord de la route MT-170, à l'Ouest des terrains de la Fazenda Preciosa (Photographie : L.-A. Nascimento, novembre 2011).

Les sols concrétionnés sont en général liés à la « Couverture Détritique Latéritique Ferrugineuse ». On peut les trouver aussi sous forme de placages épars sur certains

versants. Composés d'oxydes de fer, ils présentent une texture caillouteuse. Sans intérêt pour l'agriculture, ils sont plus utilisés comme matériel pour la construction civile et pour la réparation des routes locales.

4.6.2. Les sols peu évolués azonaux

L'ensemble de ces sols a la caractéristique d'être peu épais et de se développer dans des secteurs qui ont subi une évolution récente à l'échelle du Quaternaire. Développés aux dépens d'un substrat géologique à dominante granitique ou gneissique, ou d'alluvions récentes, ils ont une faible CEC et sont désaturés.

Les cambisols se présentent avec un horizon A peu épais qui se superpose à un horizon B naissant, lui-même sur l'horizon C. Ils se développent fréquemment sur les altérites du socle, sur les versants des vallées incisant les surfaces ou interfluvies du secteur étudié. Leur texture est sableuse, parfois caillouteuse. La quantité de matière organique dans l'horizon A est modérée. Ils présentent généralement une forte sensibilité à l'action des processus érosifs lors de leur utilisation, et l'on doit donc faire attention. Dans la région, ils sont généralement utilisés pour les pâturages.

Les neosols régolithiques (régosols), les neosols litholiques (lithosols ou entisols) se présentent de façon imbriquée sur les sommets et affleurements rocheux, ou encore sur des versants de vallée à très forte pente, sites caractérisés par une érosion récente. Les deux premiers ne présentent qu'un horizon A peu épais reposant directement sur le matériel géologique. La matière organique en quantité modeste ne connaît qu'une faible décomposition. (Photo 4.18 et 4.19).



Photo 4.18. Regosols développés sur Fazenda Preciosa sur les granites grisâtres de la Suite Intrusive São Romão (Domaine Juruena). (Photographie : J.-E. Cassiano, août 2012).



Photo 4.19. Lithosols ou Entisols développés dans les voisinages de la Fazenda Preciosa sur les granites roses fins de la Suite Intrusive São Romão (Domaine Juruena). (Photographie : D. Bittencourt Rosa, août 2012).

Les Sables Quartzueux ou Quartzipsamments se développent dans notre secteur d'étude sur les alluvions de l'étroite plaine d'inondation actuelle du Juruena dans la Fazenda São Nicolau et de l'Assentamento Vale do Amanhecer. L'alluvionnement annuel est plus important que les processus de pédogenèse et ne permet pas le développement d'un horizon A. Le matériau est constitué de sables quartzueux, bien drainés à structure particulière (Photo 4.20).



Photo 4.20. Quartzipsamments en rive gauche du Rio Juruena, où la sédimentation alluvionnaire est récente (*Photographie : L.-A. Nascimento, juillet 2012*).

Les histosols ou sols organiques sont typiques des sédiments récents des plaines alluviales du Rio Juruena sous la forêt alluviale, dans les secteurs inondables où les eaux stagnent. Ce sont des sols hydromorphes. Ils possèdent comme caractéristique un horizon A épais, organique, qui peut parfois atteindre 2 mètres d'épaisseur.

Conclusion du chapitre 4

Les exploitations agroforestières étudiées se situent dans une région de bas plateaux dans le Nord-ouest du Mato Grosso, caractérisée par un climat tropical à courte saison sèche. Ce dernier a favorisé l'existence d'une forêt naturelle, riche en espèces végétales, aujourd'hui en voie de rétraction sous l'impact des déboisements. Développée sur les roches métamorphiques et intrusives du craton amazonien, elle a favorisé en interaction avec le climat, la présence de sols tropicaux évolués profonds plus ou moins bien conservés. En effet, des phases d'érosion plus ou moins anciennes ont favorisé l'ablation partielle du couvert pédologique, mettant à nu les roches et les altérations que l'on voit affleurer sur les sommets et les versants du réseau hydrographique drainant le secteur étudié.

Ainsi, sur la séquence schématique recoupant d'Ouest en Est la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 4.8), nous pouvons distinguer trois unités. La première à l'Ouest, sur les sommets de la Fazenda Preciosa, est dominée par une végétation arborée à laquelle s'associent des pâturages sur un assemblage de sols épais (argisols et latosols), des entisols et des affleurements de roche altérée ou saine ; au centre, correspondant aux longs versants de l'Assentamento Vale do Amanhecer, une végétation arborée résiduelle et des pâturages dominants recouvrent un assemblage de sols épais (argisols et latosols) tronqués et d'entisols. A l'Est, en bordure du Rio Juruena dominent les forêts sur sols alluviaux sableux et quartzeux.

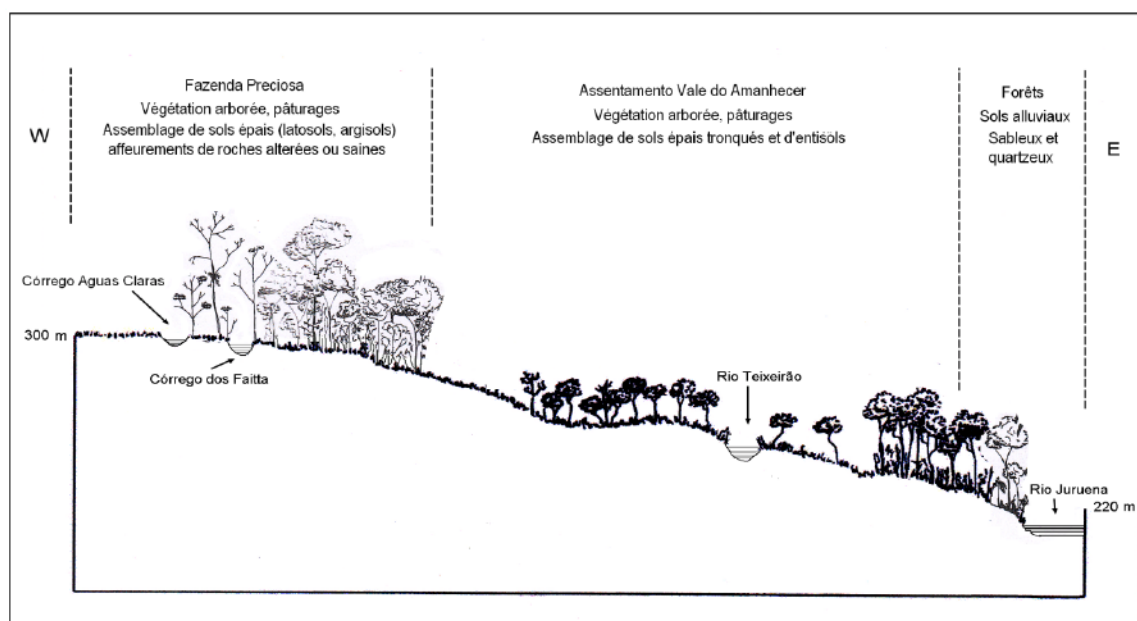


Figure 4.8. Séquence schématique Ouest – Est au travers de la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer [Adapté par L.-A. Nascimento, d'après Loureiro et al. (1980) et Amaral et al. (1982)].

La séquence schématique Sud-ouest – Nord-est effectuée sur la Fazenda São Nicolau (Figure 4.9) se subdivise en quatre unités. La première au sud-ouest, sur le plateau supérieur, est occupée par une forêt naturelle développée sur des sols épais dominants (argisols et latosols). La seconde, en contrebas, découpée par quelques vallées, est couverte d'une végétation arborée avec quelques pâturages sur des sols profonds sur les interfluvés et des entisols et des sables quartzeux dans les entailles des vallées. La troisième, très

étroite, plus élevée est constituée d’affleurements métamorphiques. Enfin au Nord-est, on retrouve des forêts sur des sols alluviaux sableux et quartzeux.

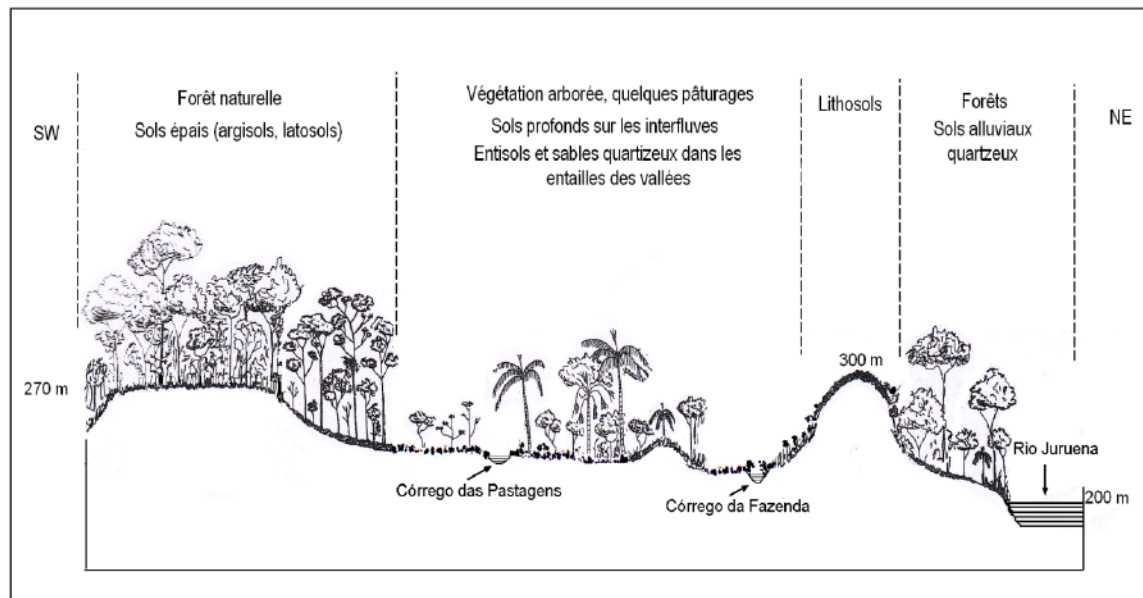


Figure 4.9. Séquence schématique Sud-ouest – Nord-est au travers de la Fazenda São Nicolau.
[Adapté par L.-A. Nascimento, d’après Loureiro et al. (1980) et Amaral et al. (1982)].

Chapitre 5

Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés

Chapitre 5 – Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés

Introduction du chapitre 5

Les forêts permettent de maintenir l'intégrité du système amazonien y compris d'une faune endémique. Par ailleurs, en favorisant l'infiltration des eaux pluviales, elles protègent les sols de l'érosion. La mise en exploitation agricole de ces forêts peut engendrer des érosions, toutefois pour Lepsch (2002) la dégradation des sols amazoniens est essentiellement le fait des pratiques agricoles (mécanisation agricole, brûlis intenses et effectués à des saisons peu adaptées, cultures sur pente). Par ailleurs, le maintien de corridors reliant les différents écosystèmes entre eux permet des échanges (Carraro et Lopes, 2006).

Dans le cadre de cette étude, nous avons affaire à une région de colonisation récente où les défrichements au profit de systèmes culturels diversifiés se sont faits plus ou moins rapidement. L'impact de ces déforestations et le devenir des espaces défrichés seront analysés dans ce chapitre dans la mesure où ces changements sont susceptibles d'avoir un impact sur le contenu en carbone des sols.

5.1. Les zones de Cotriguaçu et Juruena

Dans les études d'occupation des sols dans les secteurs étudiés, nous avons utilisé les compositions colorées en fausse couleur à partir des bandes radiométriques du proche infrarouge, du rouge et du vert afin d'identifier les grands types d'occupation des sols. Cette technique permet de différencier les espaces occupés par la forêt (rouge) des « sols nus » (bleu clair) mais, comme l'indique Guimarães (2000), elle n'atteint pas un niveau optimal de précision dans la séparation des types d'occupation des sols, car la réponse spectrale de couvertures végétales différentes peut être assez similaire, notamment en ce qui concerne les différents types de forêts. Ici par cette technique, nous pouvons distinguer d'une part les superficies défrichées occupées par des « sols nus » (qui regroupent des sols dénudés, des cultures, des pâturages plus ou moins denses, entre autres.) et d'autre part les forêts et espaces boisés.

Nous pouvons observer sur la figure 5.1, l'occupation du sol en 2011 sur les sites étudiés et leurs environs. De façon générale sur cette image représentant une superficie de plus de 500 km², nous constatons l'importance des « sols nus » qui sont soit regroupés de façon continue en ne laissant subsister que quelques parcelles de forêt ou qui se présentent en unités isolées au milieu de la forêt. La forêt, encore étendue, montre cependant des indices de recul avec la présence de ces unités de « sols nus » isolées ou développées en arêtes de poisson le long des axes routiers. Sur cette image nous ne pouvons distinguer les parcelles agricoles et les agglomérations selon des schémas classiques de la colonisation agricole au Mato Grosso (Nédélec, 2000 ; Clairay, 2003 et Dubreuil, 2005 ; Passos, 2010).

Il faut noter qu'il y a peu d'appropriation foncière le long des rivières, où sont conservées les forêts, en respect du Code Forestier du Brésil qui selon l'Article 29 de la Loi n° 12.651 du 25 mai 2012 et l'Article 3° de la Résolution CONAMA, n° 004 du 18 septembre 1985 considèrent les ripisylves comme des zones de protection permanente. Les seuls points où l'on constate des défrichements riverains du Rio Juruena sont les points de passage des axes routiers comme la route d'État MT-208, entre Nova Bandeirante, Cotriguaçu et Juruena.

A l'échelle des exploitations étudiées, nous avons comparé les images satellite Landsat TM 5 de 1987 et 2011 de façon à mieux approcher l'état de l'occupation du sol.

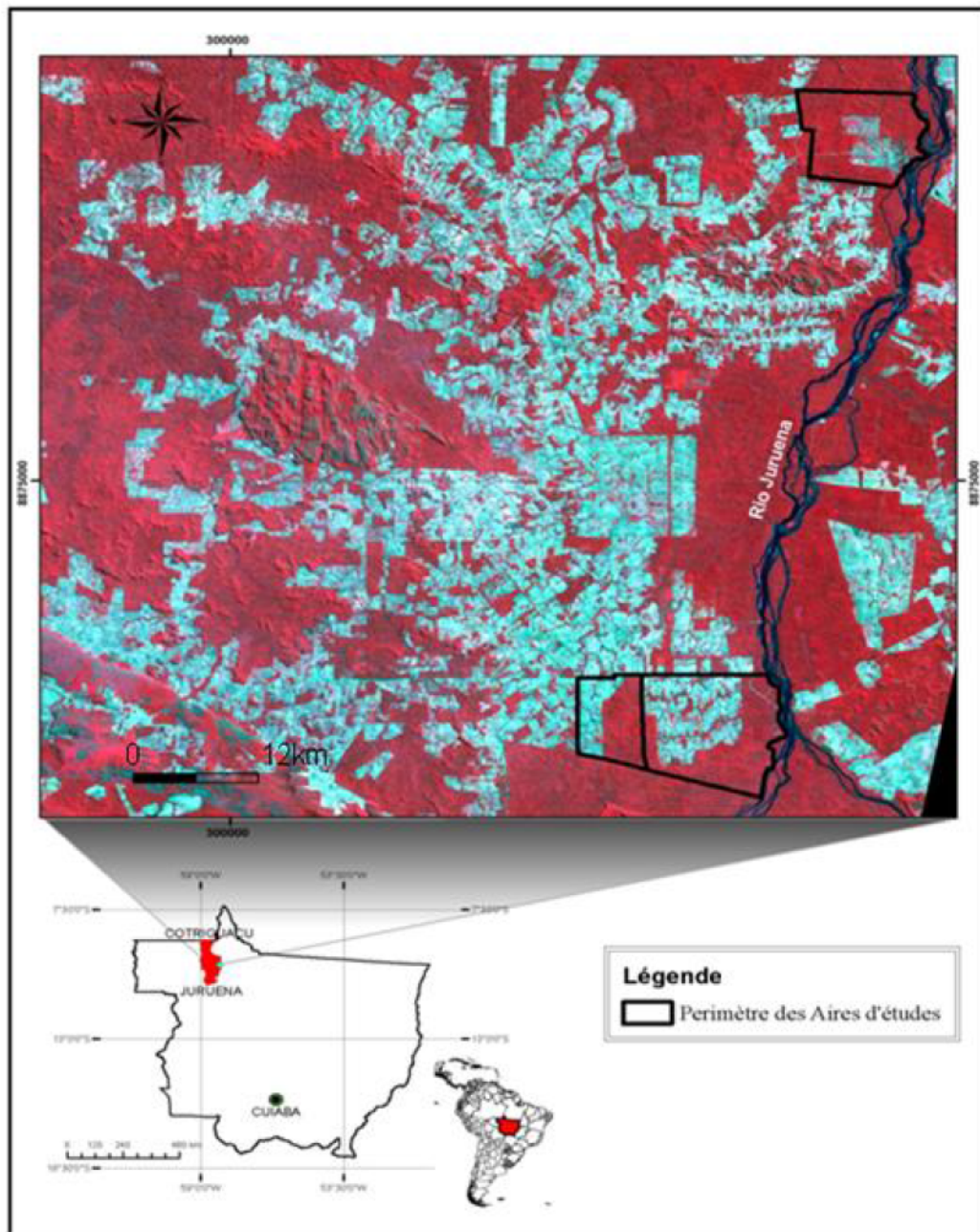


Figure 5.1. Composition Colorée (bandes 4, 3 et 2). Image Satellite *LANDSAT TM – 5*, 2011.
(*L.-A. Nascimento, septembre 2014*).

Sur la Fazenda São Nicolau (Figure 5.2), nous pouvons observer la dynamique de l'appropriation anthropique à partir de l'expansion de 150 ha de sols nus en l'espace de 24 ans.

Les deux images obtenues montrent une grande diversité des nuances de bleu et la présence de pixels de teinte allant du rose au rouge en passant par des teintes intermédiaires. L'image de 2011 montre une augmentation des superficies défrichées et aussi une complexité de l'occupation des parcelles avec la présence d'espaces boisés, comme nous pouvons le constater à l'est de l'image. En effet, les zones apparaissant en

différentes teintes de rouge, de bronze ou de rouge/marron correspondent à des recolonisations forestières des 24 dernières années.

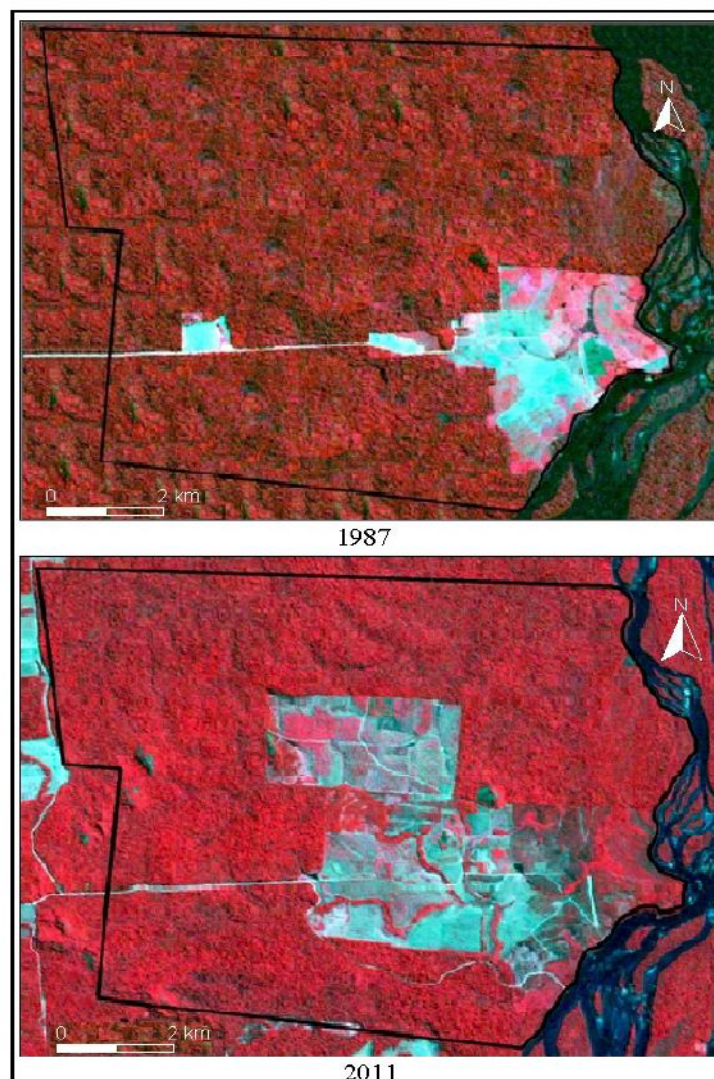


Figure 5.2. Comparaison entre les images de satellite Landsat TM 5 de 1987 et 2011 (CC 432) sur la Fazenda São Nicolau (L.-A. Nascimento, septembre 2014).

Sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 5.3), nous pouvons noter que les espaces agricoles ont augmenté entre les années 1987 et 2011. Sur la Fazenda Preciosa, elles ont augmenté de façon significative. Nous notons que sur l'image de 1987, dans le secteur sud-est, il existait une zone de couverture forestière très certainement dégradée (teintes dans les roses). Sur l'image de 2011, cet espace a beaucoup régressé, jusqu'à sa presque disparition. Sur l'Assentamento nous constatons une création récente du parcellaire, cette exploitation étant entièrement occupée en 1987 par une forêt dont les nuances de rouge montrent la diversité de sa composition. L'image de 2011 montre l'état récent de l'Assentamento après l'occupation des 250 lots par les colons.

Comme sur la Fazenda São Nicolau, nous constatons sur les espaces exploités de nombreuses nuances de bleu, voire de blanc (sols dénudés), des lambeaux de forêts (en rouge) soit sous forme de parcelles, soit sous la forme d'un linéaire le long des petits cours d'eau. Les principales parcelles agricoles en 2011 qui ressortent en bleu clair sur l'image,

selon les données des propriétaires ruraux, correspondent à des pâturages, principalement sur la Fazenda Preciosa, dont 1840 ha sont destinés à l'élevage des bovins pour la reproduction. Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, les 1548 ha exploités ont également pour finalité l'élevage des bovins mais en vue de la production de viande ou de lait, et sont occupés par des cultures de subsistance comme les plantations de manioc, papaye, ananas, citron, clémentine, riz, haricot, banane, parmi autres.

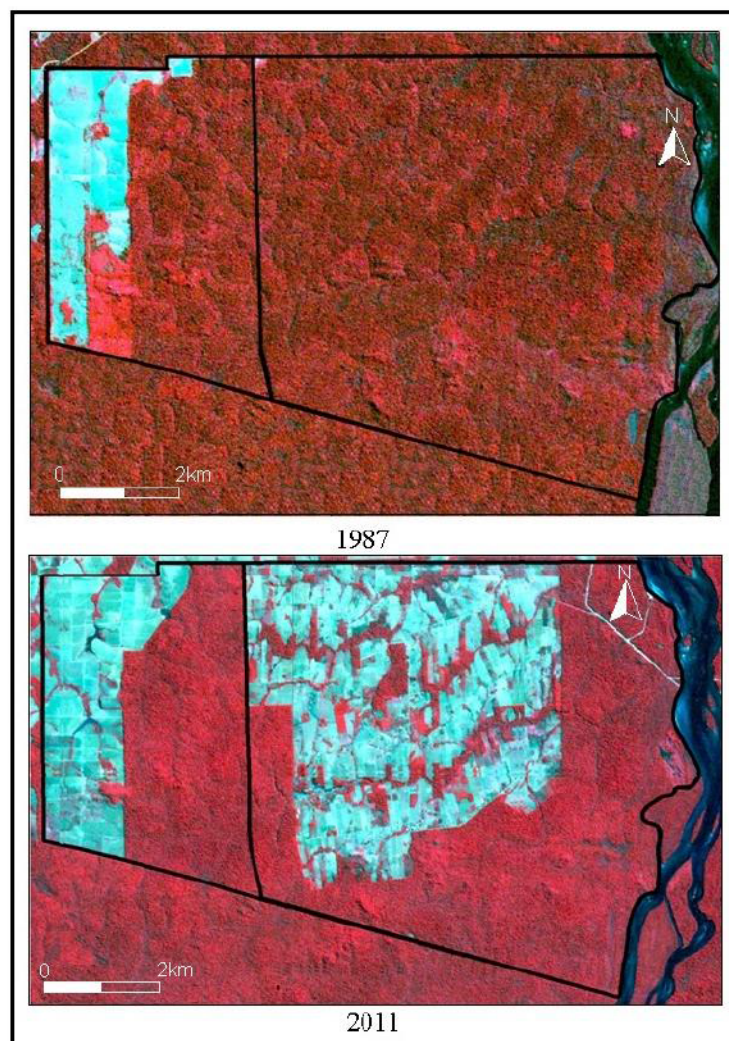


Figure 5.3. Comparaison entre les images de satellite Landsat TM 5 de 1987 et 2011 (CC 432) sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer (L.-A. Nascimento, septembre 2014).

Comme nous pouvons le constater, la composition colorée est insuffisante pour distinguer les différents stades de successions végétales, telles que les formations des forêts hautes et basses et les « capoeiras » ou encore la nature de la couverture végétale sur les parcelles exploitées qui ressortent dans des nuances de bleu. De ce fait, afin d'améliorer la robustesse de nos analyses, nous avons complété ce travail par des travaux sur le terrain qui ont permis de compléter les observations réalisées sur les images satellites, tout en corrigeant les erreurs d'interprétation issues de la première phase.

5.2. La classification de l'occupation des sols dans les zones étudiées

5.2.1. Les classes de couverts végétaux

Afin d'identifier et caractériser l'occupation des sols sur les différents secteurs d'étude, nous avons réalisé une classification. Comme nous l'avons exposé dans le chapitre 3 (§ 3.1.1.), nous avons identifié sur le terrain les différents types de couvert végétal, nous avons sélectionné et géolocalisé des points caractéristiques qui ont constitué un jeu de données qui ont servi de points d'entraînement lors de la classification supervisée par maximum de vraisemblance effectuée sur les fenêtres extraites de l'image Landsat TM de 2011 et correspondant à chaque exploitation. Ces classifications ont été choisies pour leur robustesse dans l'identification de classes spectralement assez proches grâce à l'algorithme bayésien. Nous avons alors pu établir une typologie finale fondée sur huit classes, chacune caractéristique des composantes végétales du paysage (Figure 5.4). Chaque classe est identifiée par une symbolique graphique et une photographie permettant de rendre compte des conditions des terrains (Oszwald *et al.* 2011).











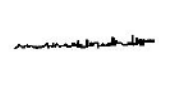





Forêt haute		
Forêt basse		
Capoeira		
Reforestation		
Pâturage avec ligneux		
Pâturage		
Sols nus		
Eau		

Figure 5.4. Typologie des composantes végétales obtenues à partir de l'analyse d'images satellitaires entre 1987 et 2011 et d'observations sur le terrain (*symbolique graphique d'après Oszwald et al. 2011, photographies L.-A. Nascimento, juillet 2012*).

Les « Forêts hautes » de la classification ont été décrites dans le chapitre 4 (§ 4.5.1.), les forêts denses secondaires évoquées dans ce même paragraphe sont désignées dans la classification sous le nom de « Forêts basses ». La classe « Capoeira » ou formation boisée

secondaire y est également décrite. Il faut souligner que ces deux faciès secondaires (« Forêt basse » et « Capoeira ») se distinguent par la densité des formations arborées et leur hauteur et donc leur degré d'évolution.

La classe « Reforestation » couvre les plantations qui se caractérisent par une strate arborée dont la hauteur et le recouvrement des houppiers peuvent varier en fonction de l'âge et de l'espèce. Les arbres s'accompagnent majoritairement de strates arbustive, buissonnante et d'une couverture au sol par des graminées. Seules les plantations de Teca ne possèdent qu'une strate arborée et une couverture de feuilles mortes au sol.

Les classes de « pâturages avec ligneux » et les « pâturages » ont été définies dans le chapitre 4, § 4.5.2 ».

La classe des « Sols nus » représente des parcelles partagées entre des plages de sols dénudés toujours de faible dimension et des plages couvertes par une végétation basse ou rase, plus ou moins dense. Cette classe correspond à des parcelles cultivées à différents stades de croissance, à des parcelles en cours de transformation agricole (préparation d'une replantation, renouvellement des pâturages).

La classe « eau » recouvre le Rio Juruena et les plans d'eau naturels ou artificiels.

La validation de la classification

Pour tester la validité de la classification, nous avons utilisé le coefficient de Kappa. Il constitue la méthode la plus connue et il est considéré comme le plus performant dans la vérification des classifications thématiques (Barbosa, 2009). Une valeur proche de 1 indique une complète coïncidence entre la vérité terrain et le résultat de la classification alors qu'une valeur proche de zéro suggère que le résultat est purement dû au hasard.

L'ensemble du test (Tableau 5.1) indique des résultats très satisfaisants avec des coefficients toujours supérieurs à 0,9.

Tableau 5.1. Le Coefficient de Kappa d'après Barbosa (2009).

Années	Coefficient de Kappa		Résultats de la classification
	Fazenda São Nicolau	Fazenda Preciosa et Assentamento Vale do Amanhecer	
1987	0,9813	0,9541	Excellent
1990	0,9619	0,9657	Excellent
1995	0,9146	0,9293	Excellent
1999	0,9909	0,9933	Excellent
2007	0,9716	0,9879	Excellent
2011	0,9090	0,9624	Excellent

5.2.2. Les résultats de la classification appliqués aux différentes exploitations

Les acquisitions d'archives ont permis de disposer d'informations pour les années 1987, 1990, 1995, 1999, 2007 et 2011 pour l'ensemble des sites échantillonnés. Nous avons privilégié les images acquises durant la saison sèche pour limiter la présence de couvert nuageux et celle d'une trop forte évaporation et évapotranspiration, ce qui amoindrirait la qualité des celles-ci. À partir de ce corpus d'images satellites, les points d'entraînement ont été recalés et superposés. Une correction géométrique a donc été réalisée grâce à des points GPS remarquables identifiés au sol lors des missions sur le terrain (ponts, croisements de chemin, inselbergs...). Toutes les images d'archives ont ainsi été recalées par rapport à l'image de référence et à la campagne de terrain, c'est-à-dire l'image de 2011. Afin de reconstituer l'historique des paysages du site, nous avons

également identifié, par correspondance spectrale, sur les images anciennes les éléments recherchés. Par comparaison, il a alors été possible de reconstituer des classifications pour les périodes antérieures. À partir de ce travail, une base de données thématique et cartographique renseignant les éléments paysagers à plusieurs dates a été réalisée.

La Fazenda São Nicolau

Cette méthode a d'abord été utilisée sur les images de la Fazenda São Nicolau (Figure 5.5) avec les sept classes suivantes : forêts haute et basse, les « capoeiras », les reforestations, les pâturages, les sols nus et l'eau.

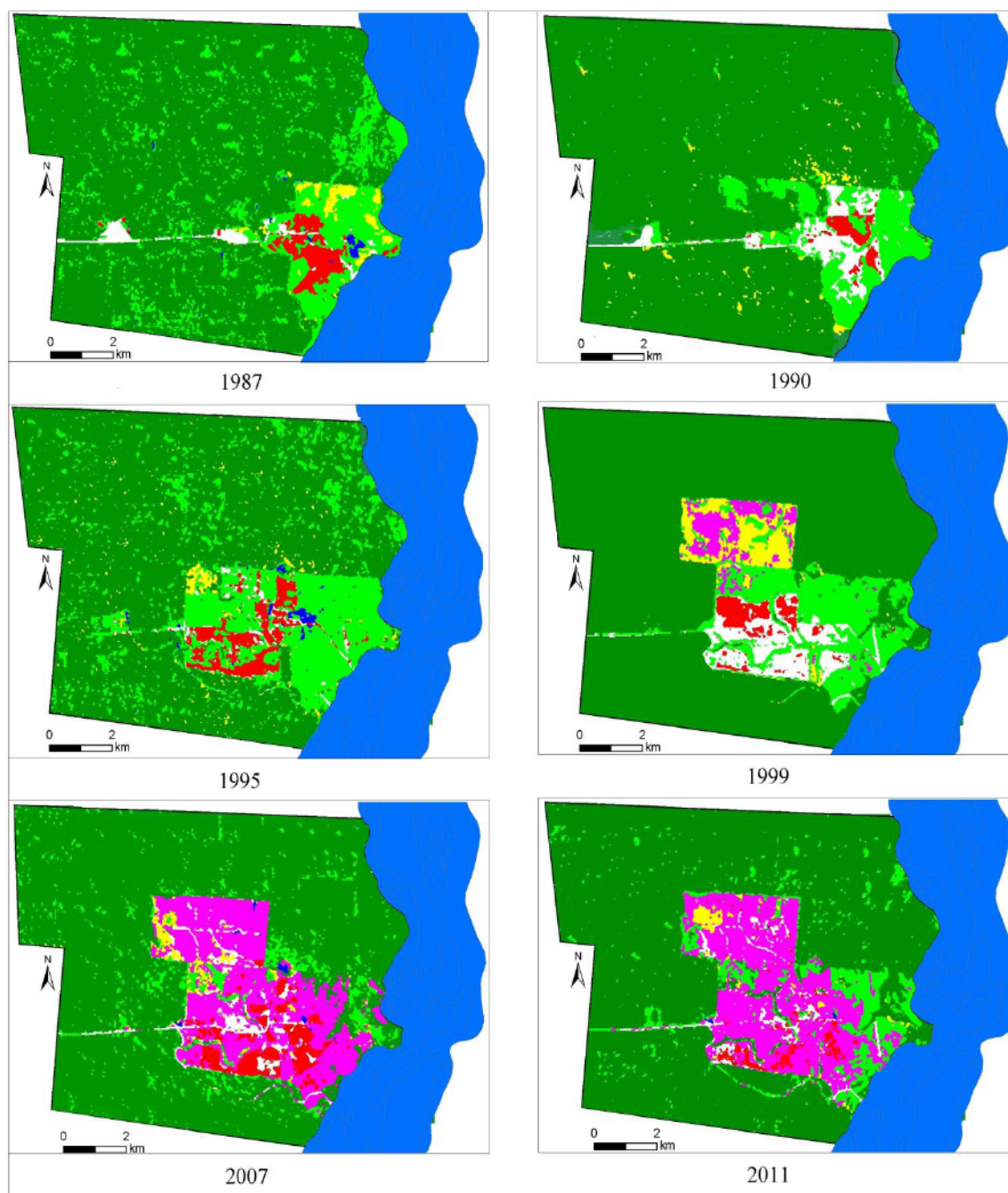


Figure 5.5. Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur la Fazenda São Nicolau (*L-A. Nascimento, septembre 2014*). Légende :

Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage Reforestation Eau Sols nus

En 1987, la surface utilisée est réduite par rapport à la surface totale de la fazenda. Autour d'une plage constituée de pâturages, on note la présence de forêts basses et de capoeiras dans la partie nord. Des sols nus existent surtout le long des chemins de la fazenda. Des plans d'eau sont présents à proximité des pâturages. La partie occupée par la forêt haute est parsemée d'une multitude de petites unités de forêts basses. A cette période, selon les informations de la gérante, la fazenda n'a été utilisée que pour l'élevage mais des coupes sauvages d'arbres avaient lieu dans la forêt sans autorisation du propriétaire.

En 1990 et 1995, on observe une augmentation de la surface défrichée de la fazenda, surtout en 1995. 1990 est marquée par une diminution des pâturages et une augmentation des « sols nus », un grignotage de la forêt. En 1995, nous observons une surface exploitée de forme parfaitement géométrique développée vers l'Ouest aux dépens de la forêt et que les superficies en sols nus ont pratiquement disparu. Les pâturages ont considérablement augmenté et sont situés soit sur les anciens sols nus, soit dans le secteur nouvellement défriché. Des plans d'eau sont associés aux pâturages. Les forêts basses se développent au détriment de la forêt haute et réinvestit des sols nus et des pâturages avec ligneux. Les capoeiras sont peu représentées dans la zone d'exploitation.

Entre 1995 et 1999, nous notons qu'une nouvelle extension de la fazenda a eu lieu au Nord-ouest. L'occupation du sol est marquée par un déplacement des pâturages vers le Nord par rapport à 1995, et une extension des « sols nus » sur leur ancien emplacement et aux dépens de la forêt basse au centre est de la fazenda. Les plans d'eau ont disparu. Sur la partie nouvellement défrichée, les « capoeiras » et les reforestations dominent. Ces transformations dans l'occupation du sol correspondent à l'achat de la fazenda par l'entreprise Peugeot qui a une stratégie nouvelle d'usage du sol avec une politique de reforestation. La grande extension de la classe des sols nus correspond vraisemblablement à des parcelles en voie de reforestation où la petite hauteur des arbres et leur faible recouvrement au sol expliquent que le capteur du satellite les a confondues avec des sols nus.

Entre 1999 et 2007, la majorité de la surface exploitée de la fazenda est recouverte de replantations, les surfaces en pâturages et « capoeiras » ont reculé, la politique de reforestation a commencé à donner des résultats positifs.

En 2011, on observe peu de différences avec l'image de 2007, sauf à l'Est, à proximité du Rio Juruena, où des replantations sont remplacées par des forêts basses.

La Fazenda Preciosa

Sur la Fazenda Preciosa, on a utilisé la même méthode de classification. Sept classes thématiques ont été obtenues : les forêts haute et basse, les « capoeiras », les pâturages avec ligneux, les pâturages, les sols nus et l'eau (Figure 5.6).

En 1987, on note la présence d'une partie importante de la fazenda occupée par des forêts hautes, environ deux tiers de la superficie située à l'Est de l'exploitation. A l'Ouest, les classes des pâturages avec ligneux et des pâturages sont dominants. Elles sont associées dans la partie nord où l'on note l'existence de nombreux plans d'eau. Dans la partie sud la presque moitié de la surface est occupée par un ensemble de parcelles de « capoeiras » en bordure de forêt, l'autre moitié est couverte de pâturages avec ligneux dominants en association avec des « capoeiras ». Selon le gérant de la fazenda, le défrichement et l'exploitation ont commencé en 1980 et la fazenda a toujours été utilisée pour l'élevage.

En 1990, dans la partie nord, les pâturages avec ligneux diminuent au profit des pâturages et apparaissent des sols nus tandis que dans la partie sud ils se développent aux

dépend des « capoeiras ». Celles-ci sont également remplacées par des sols nus et de la forêt haute.

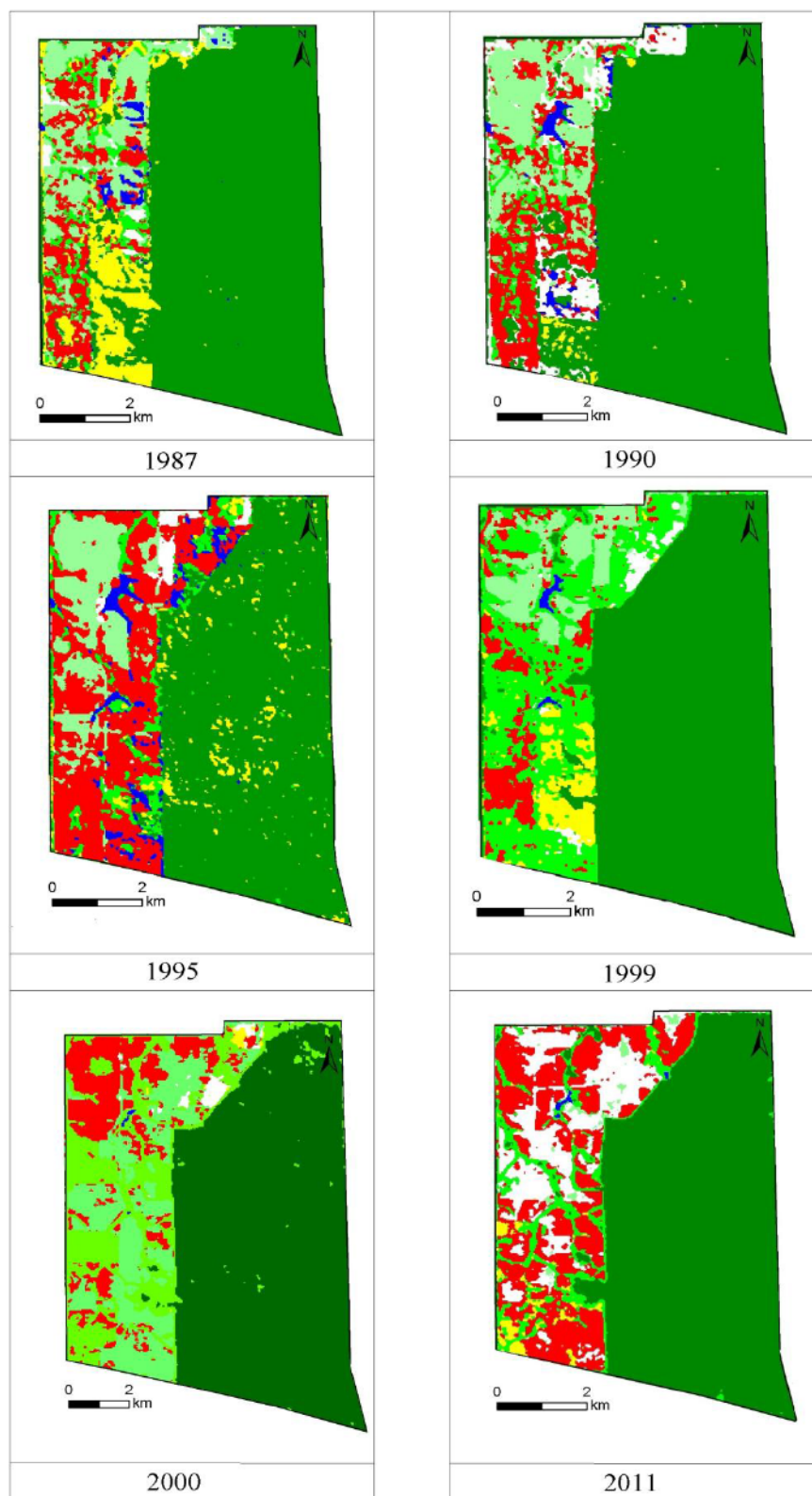


Figure 5.6. Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur la Fazenda Preciosa (L.-A. Nascimento, septembre 2014). Légende :

Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage avec ligneux Pâturage Eau Sols nus

En 1995, la fazenda connaît un changement significatif : elle est largement occupée par des pâturages avec ligneux. Les plans d'eau sont visibles sur l'image, et en forte augmentation soit parce qu'ils étaient cachés par la végétation de type forêt ou « capoeiras » ou qu'ils aient été créés pour les besoins de l'élevage. Dans la partie nord de l'image, la forêt a reculé au profit des pâturages avec ligneux et des sols nus. Le gérant de la fazenda explique ces déboisements par une nouvelle politique d'élevage avec notamment une augmentation du nombre de bovins.

Sur l'image de 1999, on peut noter que les pâturages avec ligneux sur l'ensemble exploité et quelques pâturages dans la partie nord sont remplacés par de la capoeira et surtout de la forêt basse. Se pose ici le problème de la validité de la classification : il serait plus logique d'avoir un scénario faisant passer le pâturage avec ligneux - voire le pâturage - à l'état de capoeira sur une courte période. En effet, il faut supposer une croissance extrêmement rapide de la couverture arborée à partir de l'état de pâturages avec ou sans ligneux. Les autres classes sont faiblement représentées : les surfaces de sols nus de l'image antérieure sont devenues pâturages, pendant que les pâturages avec ligneux sont devenus sols nus.

Dans l'année 2000 on se retrouve dans un autre scénario où prédomine la classe des pâturages dans la moitié sud associée à celle de la forêt basse. Le pâturage avec ligneux couvre une grande extension dans la partie nord mais n'est plus qu'à l'état de petites parcelles éparpillées dans la partie sud. Toujours dans la partie sud, la « capoeira » a disparu au profit des pâturages et de la forêt basse. Seul un plan d'eau est visible.

En 2011, la classe des pâturages avec ligneux est dominante et la superficie occupée par la classe des sols nus a augmenté considérablement. La forêt basse se localise strictement le long des cours d'eau et dans les zones de transition avec la forêt haute. Selon le gérant, en 2011 le propriétaire a déboisé pour reconstituer les pâturages de la fazenda. La surface en sols nus au centre-ouest de l'image est en réalité une parcelle de culture de Teca que le capteur du satellite a pris comme sols nus, car à la date d'acquisition de l'image satellite choisie, les arbres de Teca n'avaient pas de feuilles.

L'Assentamento Vale do Amanhecer

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, la procédure a été la même et on a trouvé sept classes thématiques : les forêts haute et basse, les « capoeiras », les pâturages avec ligneux, les pâturages, les sols nus et l'eau (Figure 5.7).

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer entre les années 1987, 1990, 1995 et 1999 il y a peu de différences. Sur les années 1990, 1995 et 1999 nous constatons cependant, en bordure nord du futur assentamento une mince bande de défrichement où on note une évolution classique sur les trois années : sols nus, pâturages avec ligneux, forêts basses. Pendant toute cette période, les terrains du futur assentamento étaient déjà utilisés pour l'enlèvement des arbres sans autorisation du propriétaire. En 2000, l'assentamento a commencé à être mis en valeur. Des chemins sont tracés pour permettre le défrichement et des parcelles s'ouvrent de part et d'autre donnant lieu à une configuration en arêtes de poisson. Ces parcelles en cours de défrichement ressortent comme des forêts basses au milieu desquelles se détachent quelques parcelles de sols nus, de pâturages et de pâturages avec ligneux. En 2011, les 250 parcelles sont occupées avec la prédominance des classes des pâturages (pâturages avec ligneux et pâturages) et de la classe des sols nus. On note également la présence en quantité restreinte de parcelles occupées par de la « capoeira ». De nombreux îlots de forêts hautes sont maintenus sur les versants et dans les fonds de

vallée. La forêt basse constitue une auréole de transition entre les parcelles exploitées et les forêts hautes et traduisent des fronts de défrichage.

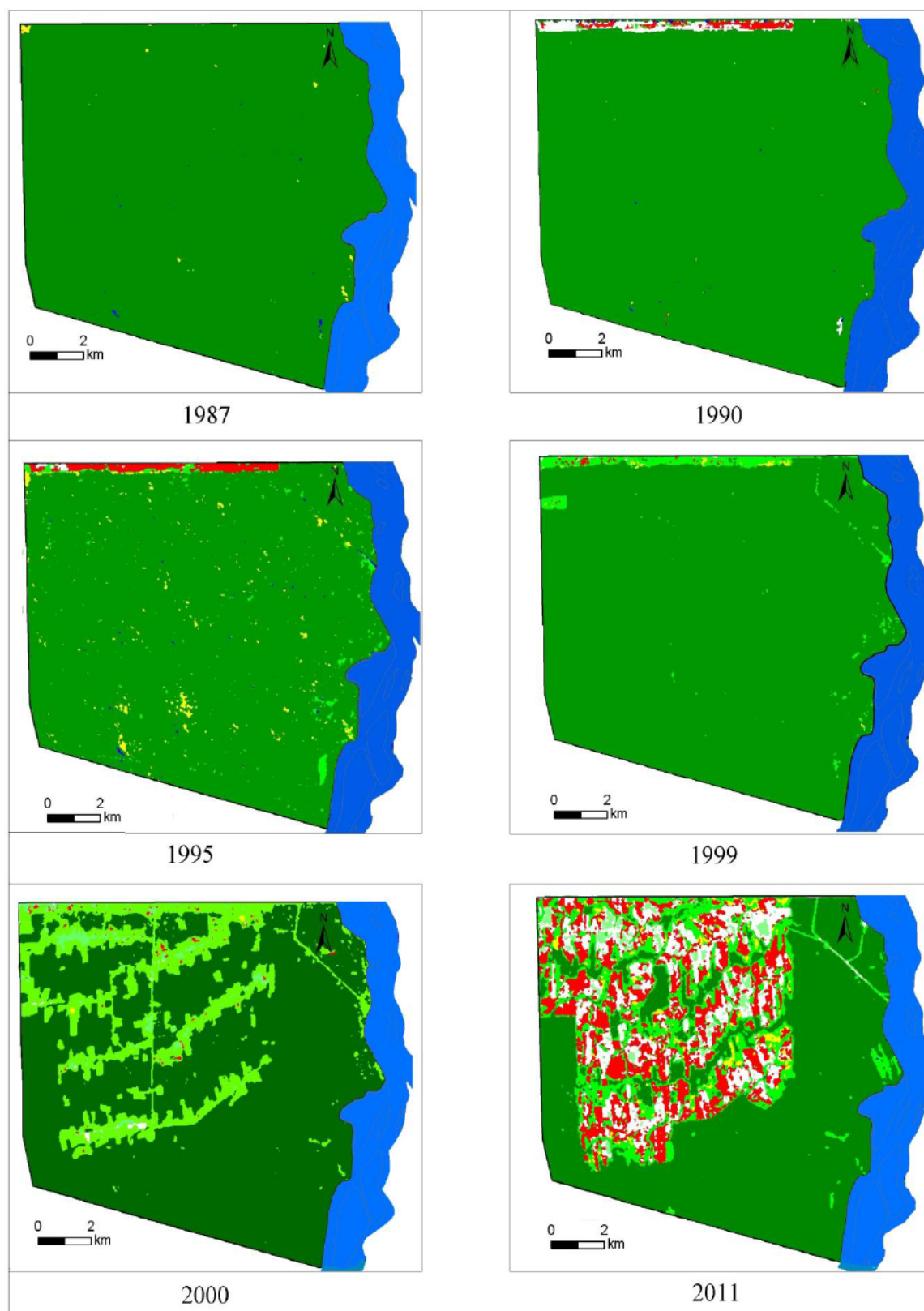


Figure 5.7. Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (L.-A. Nascimento, septembre 2014). Légende :

Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage avec ligneux Pâturage Eau Sols nus

Conclusion du chapitre 5

La classification supervisée par maximum de vraisemblance a permis l'identification de huit classes à partir d'échantillons terrain qui ont servi de points d'entraînement. Toutefois, comme le montre notre commentaire sur l'occupation du sol en 1995 sur la Fazenda Preciosa, quelques confusions peuvent s'introduire dans la différenciation de classes. Sur le terrain, nous avons bien distingué les « Capoeiras » et les forêts basses mais deux aspects peuvent introduire quelques erreurs dans la classification :

- l'image multi-spectrale utilisée possède une résolution spatiale relativement faible (30 m x 30 m) de sorte que les pixels situés dans des régions hautement morcelées (comme l'Assentamento Vale do Amanhecer) ou encore sur les limites, donnent des valeurs de réflectance considérablement différentes des valeurs moyennes trouvées pour chaque classe identifiée ;

- les réponses spectrales de quelques couvertures comme la « capoeira » et les forêts basses peuvent être par ailleurs relativement proches en fonction du faciès qu'elles peuvent localement présenter en relation avec leur évolution propre : ainsi une « capoeira » peut être partiellement constituée de boisements denses pouvant engendrer des confusions avec de jeunes forêts basses.

Les classes d'occupation du sol sur les trois exploitations sont très semblables, la différence la plus importante étant l'existence de la classe de reforestation sur la Fazenda São Nicolau. Les rythmes d'implantation et de changement des différentes classes sur les trois exploitations se calent sur des calendriers différents en fonction des stratégies ou des dates de création de chacune mais il existe deux points communs à toutes : le recul de la forêt haute et les changements rapides des classes d'occupation du sol sur les mêmes parcelles à des dates rapprochées. Sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer, nous constatons un schéma d'occupation des sols fréquent (Figure 5.8):

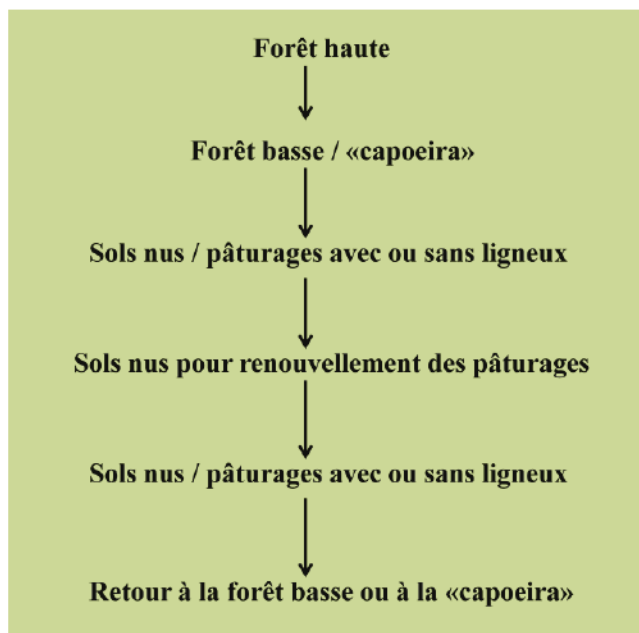


Figure 5.8. Schéma de successions d'occupation des sols sur les exploitations (sans reboisement).

Toutefois, dans le détail des successions on peut trouver un certain nombre de variations.

Chapitre 6

Des dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011 marquées par un recul de la forêt

Chapitre 6 – Des dynamiques de l’occupation des sols entre 1987 et 2011 marquées par un recul de la forêt

Introduction du chapitre 6

L’objectif principal de ce chapitre est de montrer l’évolution de la couverture végétale sous l’impact des actions anthropiques qui ont eu lieu ces dernières années. Nous avons utilisé les images satellite et les données provenant des travaux menés sur le terrain. La carte de la végétation de la Feuille SC.21-Juruena du Projet RADAMBRASIL de Loureiro *et al* (1980) au millionième, montre la couverture végétale avec peu d’interventions anthropiques. Elle montre aussi la prédominance des forêts haute et basse sur la portion est et nord de la Fazenda São Nicolau, sud et ouest de la Fazenda Preciosa et au centre et au nord-ouest de l’Assentamento Vale do Amanhecer.

Les trois zones d’études analysées dans cette thèse peuvent être considérées comme des zones de référence de la diversité végétale du Nord-Ouest de l’État du Mato Grosso, notamment en raison de la présence de plusieurs espèces végétales emblématiques, comme nous l’avons vu antérieurement (cf. Chapitre 4, § 4.5).

6.1. Les évolutions dans les années 1987 à 2011

Afin de mieux cerner l’ampleur des dynamiques de l’occupation des sols, nous avons quantifié les surfaces des différents thèmes définis dans les classifications entre 1987 et 2011 sur les différentes exploitations.

La Fazenda São Nicolau

Nous observons une variation des pourcentages des types d’occupation du sol dans la Fazenda São Nicolau sur le Tableau 6.1. Nous pouvons constater que les forêts hautes ont diminué durant toute la période étudiée de 5,72 %. Les forêts basses ont diminué de 21,11 %. Il s’agit de l’élément paysager le plus impacté par la dynamique de l’occupation des sols sur notre site d’étude.

Tableau 6.1. Dynamique des différents thèmes de l’occupation des sols sur la Fazenda São Nicolau entre 1987 et 2011 (*L-A. Nascimento, 2014*).

Thèmes	1987		1990		1995		1999		2007		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Forêt haute	5660	55,01	5570	69,85	5100	59,38	4380	56,26	5450	57,98	4220	49,29
Forêt basse	3120	40,13	1520	19,62	2540	32,56	1750	22,31	870	10,95	1490	19,02
Reforestation	-	-	-	-	-	-	570	7,13	1670	19,63	2570	22,87
Capoeira	150	1,96	420	4,22	390	3,75	520	5,16	230	2,77	190	3,15
Pâturage	250	1,27	740	1,60	310	2,19	2110	2,70	390	4,98	190	2,95
Sols Nus	130	1,63	980	4,71	280	2,12	510	6,44	301	3,69	280	2,72

Les éléments paysagers correspondant à de la végétation secondaire, comme les plantations de forêts ont augmenté de 22,87 %, ce qui démontre l’efficacité du projet de plantation qui se développe dans la fazenda depuis la fin des années 1990.

Les thèmes en faible augmentation comme les « Capoeiras », présentent une progression de leur surface sur la zone d’étude non significative de 1,19 %. Les pâturages évoluent peu durant la période, avec une légère augmentation de 1,68 %, ce qui peut être expliqué par une stabilité du cheptel dans la fazenda. Nous enregistrons également une progression des surfaces de sol nu de 1,09 %, ce qui est peu et conforme avec le fait que la fazenda suit une politique de non expansion de ces surfaces. L’augmentation notée ici peut

être expliquée par la création de routes ou encore par des parcelles en cours de reforestation.

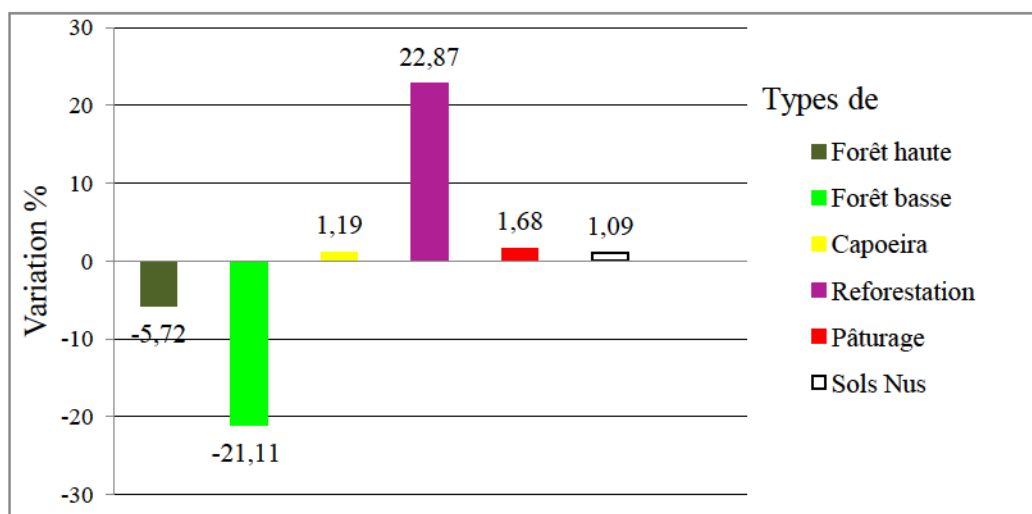


Figure 6.1. Dynamique de l'occupation des sols sur la Fazenda São Nicolau entre 1987 et 2011.

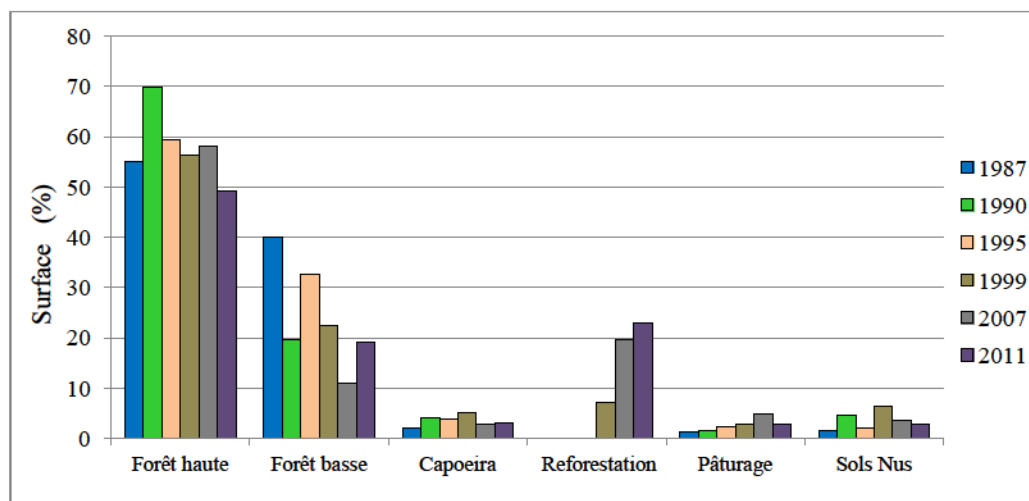


Figure 6.2. Variations des différents thèmes de l'occupation des sols par année sur la Fazenda São Nicolau.

La figure 6.2 montre les pourcentages des surfaces occupées pour les forêts hautes, les forêts basses, les « capoeiras », les plantations d'arbres, les pâturages et les sols nus pour chaque année étudiée. La forêt haute a globalement diminué mais présente des variations, surtout en 1990, avec une augmentation de 14,84 %. La forêt basse connaît également des variations. 1990 marque une chute de la forêt basse alors que la forêt haute se développe, ce qui laisse penser que cette dernière s'est développée au moins en partie aux dépens de la forêt basse. 2007 est l'année où la forêt basse a présenté le taux d'occupation le plus bas et l'année 1987 le plus haut.

Les surfaces de « capoeira » et de sols nus ne varient que très peu durant la période. La figure 6.2 montre bien le moment du démarrage des plantations forestières en 1999. Leur pourcentage a augmenté considérablement pendant les douze dernières années avec l'année 2011 qui présente un maximum (22,87 %).

La Fazenda Preciosa

Sur la Fazenda Preciosa, si l'on observe les dynamiques des éléments paysagers à partir du Tableau 6.2 et de la Figure 6.3, on constate que les forêts hautes ont le plus diminué pendant cette période. En 1987, elles couvraient 69,79 % de la superficie de la fazenda, en 2011 la couverture n'était plus que de 45,42 %. Les forêts basses sont passées de 4,21 % en 1987 à de 8,86 % en 2011, soit une augmentation de 4,65 %. Cela montre que les propriétaires suivent la législation brésilienne de conservation des forêts, en préservant la végétation qui se trouve autour des cours d'eau (ripisylve).

Tableau 6.2. Dynamique des différents thèmes de l'occupation des sols sur la Fazenda Preciosa entre 1987 et 2011 (L.-A. Nascimento, 2014).

Thèmes	1987		1990		1995		1999		2000		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Forêt haute	4285	69,79	3940	62,24	2274	36,41	3368	48,11	2930	42,86	3180	45,42
Forêt basse	295	4,21	240	3,43	520	7,43	628	8,97	769	11,98	620	8,86
Capoeira	650	9,28	320	4,57	980	14,00	1060	15,14	260	4,71	520	7,42
Pâturage avec Ligneux	618	8,83	850	12,14	1800	25,01	720	10,29	1050	16,40	1340	20,81
Pâturage	455	6,50	713	10,19	720	10,29	650	9,29	1218	18,04	200	2,86
Sols Nus	97	1,39	520	7,43	480	6,86	560	8,20	428	6,01	1024	14,63

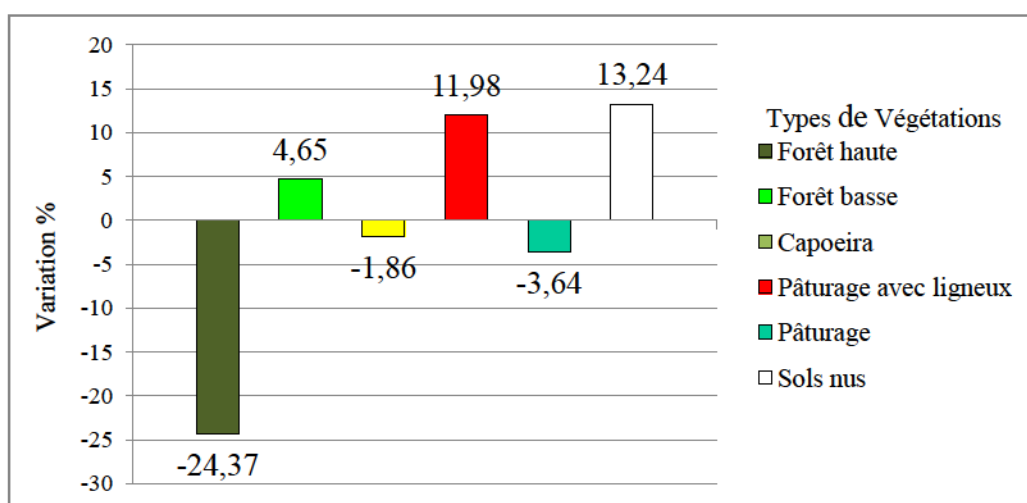


Figure 6.3. Dynamique de l'occupation des sols sur la Fazenda Preciosa entre 1987 et 2011.

La formation boisée secondaire dénommée « capoeira » présente une progression de 1,86 %. La « capoeira » représente moins de 10 % de la superficie et a régressé de 1,86 % en 2011 par rapport à 1987.

La classe des pâturages avec ligneux ne représentait que 8,83 % de la superficie de la fazenda en 1987 mais atteint en 2011 un cinquième de la superficie totale avec 20,81 %, soit une augmentation de 11,98 %. Les pâturages sont peu étendus en 1987 et 2011, respectivement 6,50 et 2,86 %. Ils diminuent de plus de la moitié (3,64 %) si l'on compare ces deux années. Quant aux sols nus, ces derniers ont eu une évolution positive de 13,24 %, grâce notamment aux processus de renouvellement des pâturages. Ces renouvellements sont réalisés par parcelles, selon les informations du propriétaire de la fazenda.

Sur la Fazenda Preciosa, les surfaces occupées par les différents thèmes connaissent en fait des variations importantes (Tableau 6.2 et Figure 6.4) au sein de la période étudiée. La forêt haute enregistre une diminution constante entre 1987 et 1995 puisqu'elle était de 69,79 % en 1987 et seulement 36,41 % huit ans plus tard, soit un recul de 33,38 % ou

encore de la moitié de sa surface. Après 1995, les surfaces de forêts hautes tendent à augmenter et occupent en moyenne 45 % de la fazenda. La forêt basse a eu une petite réduction entre 1987 et 1990 mais a ensuite régulièrement augmenté jusqu'en 2000. On note une légère régression entre 2000 et 2011.

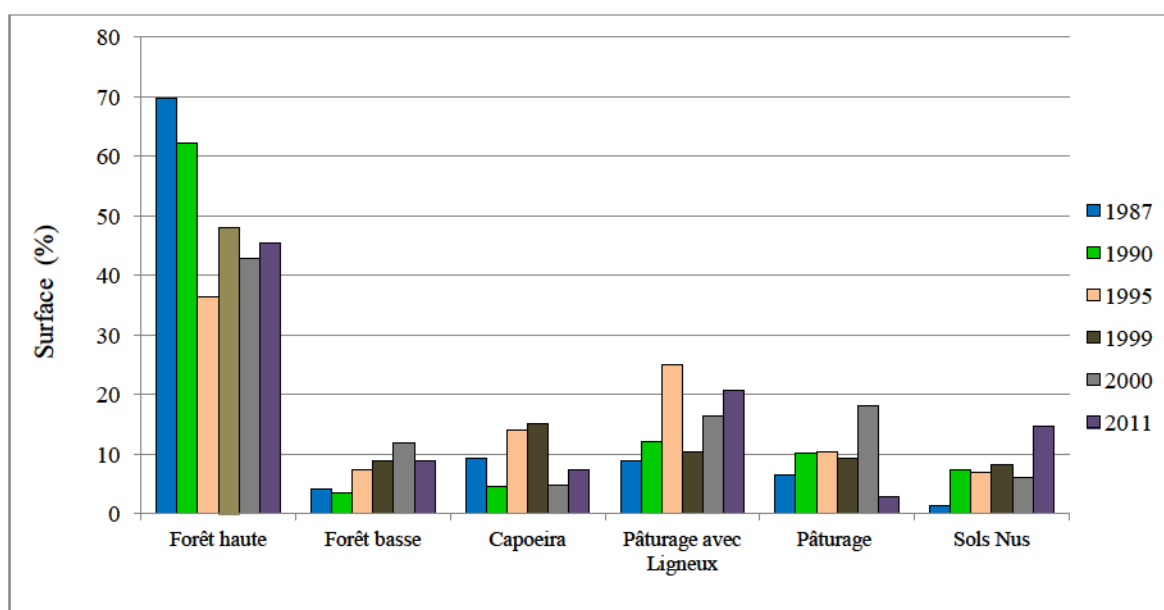


Figure 6.4. Variations des différents thèmes de l'occupation des sols par année sur la Fazenda Preciosa.

Les « capoeiras » connaissent des variations importantes avec d'abord une diminution en 1990. Dans les années 1990 les superficies augmentent et atteignent environ 15 %. Les années 2000 sont marquées par un recul. Les superficies de pâturages avec ligneux varient également fortement avec une première phase de croissance (1987 à 1995) se traduisant par un triplement des superficies, puis une chute brutale enregistrée en 1999 suivie d'une augmentation dans les années 2000. La classe « pâturage » évolue peu durant la période sauf de 1999 à 2000. Enfin, la classe « sols nus » connaît une forte progression pendant l'ensemble de la période (+13,24 %), avec un taux relativement stable dans les années 1990 et une progression rapide dans les années 2000.

Ces variations enregistrées sur les différents thèmes opposant les années 90 aux années 2000 sont liées à la stratégie des nouveaux propriétaires de la fazenda.

L'Assentamento Vale do Amanhecer

Sur l'espace correspondant à l'actuel Assentamento Vale do Amanhecer, les années 1987 à 1999 nous pouvons voir que les forêts hautes couvraient presque totalement l'ensemble (Tableau 6.3 et Figure 6.5). Cependant, on note un léger recul de la forêt haute dans les années 1990, mais à la fin de celles-ci l'ensemble des autres thèmes de l'occupation du sol est inférieur à 8 % de la surface totale.

L'année 2000 marque le changement de l'occupation des sols avec un recul de la forêt haute de 28,63 %. Les forêts basses qui ne représentaient que 0,03 % en 1987, 3,99 en 1999, sont passées à 12,71 % en 2011 et ont connu une progression de 12,68 % depuis 1987.

Tableau 6.3. Dynamique des différents thèmes de l'occupation des sols entre 1987 et 2011
(L.-A. Nascimento, 2014).

Thèmes	1987		1990		1995		1999		2000		2011	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Forêt haute	14 590	99,63	14430	96,90	13628	92,63	13680	92,96	10980	76,80	9030	64,33
Forêt basse	5	0,03	50	0,32	200	1,36	412	3,99	1810	12,30	1870	12,71
Capoeira	20	0,14	60	0,40	140	0,95	180	1,32	180	1,32	890	6,05
Pâturage avec Ligneux	25	0,17	100	0,63	620	4,25	130	0,98	470	3,20	1030	7,00
Pâturage	2	0,01	40	0,24	10	0,16	50	0,48	720	4,89	518	3,52
Sols Nus	3	0,02	230	1,51	95	0,65	40	0,27	220	1,49	940	6,39

La « capoeira » enregistre également une progression, même si elle est moins forte, avec 5,91 % depuis 1987 (4,73 % depuis 1999). Avant la création de l'Assentamento, les surfaces de « capoeiras » sont identifiables sur des petites zones pour les années 1987, 1990, 1995 et 1999. En 2000, ces unités se réduisent avec l'installation des premiers « assentados ». En 2011, après l'occupation des 250 lots de l'assentamento, on peut voir une augmentation notable des surfaces de « capoeiras » (Figure 6.5). Cette augmentation peut être expliquée par le fait que certains propriétaires abandonnent leurs parcelles et retournent à vivre dans la ville.

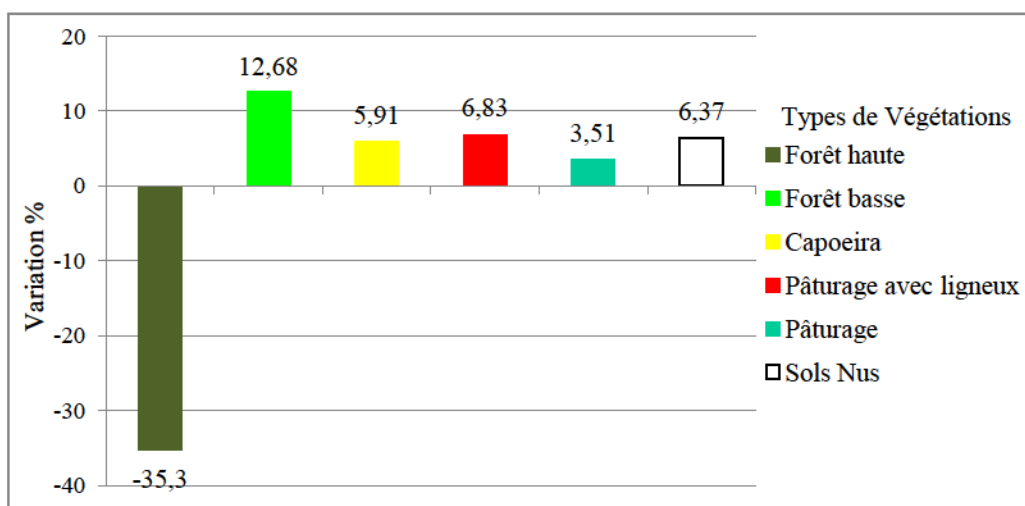


Figure 6.5. Dynamique de l'occupation des sols sur l'Assentamento Vale do Amanhecer entre 1987 et 2011.

Les pâturages avec ligneux connaissent une progression de 6.83 %, surtout à partir de la division des lots entre les propriétaires de l'Assentamento Vale do Amanhecer au début des années 2000. Une autre explication est liée au fait que de nombreux propriétaires se sont joints au programme agro-forestier (Nascimento *et al.* 2014) développé en partenariat avec le Secrétariat de l'Agriculture du district de Juruena et la PETROBRAS. Les surfaces en pâturages ont eu une évolution positive de 3,51 %.

Quant aux sols nus, ils progressent de 6,37 %. L'augmentation des sols nus est surtout concentrée sur l'année 2011 avec l'apparition de routes secondaires construites entre les lotissements de l'assentamento et les routes qui relient l'assentamento à la ville de Juruena et aux autres localités de la zone d'étude.

Les pourcentages des espaces occupés par les différents thèmes au sein de la période étudiée sur l'Assentamento Vale do Amanhecer peuvent être analysés sur la Figure 6.6. Cette figure permet de constater que la classe de forêt haute couvre encore aujourd'hui la plus grande partie de l'assentamento ce qui peut être expliqué par le fait que les propriétaires respectent la loi sur la conservation des forêts. On note cependant que cette

classe a connu une forte diminution pendant la période d'étude. En effet, les surfaces de forêts hautes passent de près de 100 % en 1987 à 64,33 % en 2011 avec une diminution surtout à partir de 2000 correspondant à la mise en valeur agricole par les « assentados ».

La forêt basse a augmenté au fil des ans. Entre les années 1987 et 2011 nous avons enregistré une augmentation de 12,68 %.

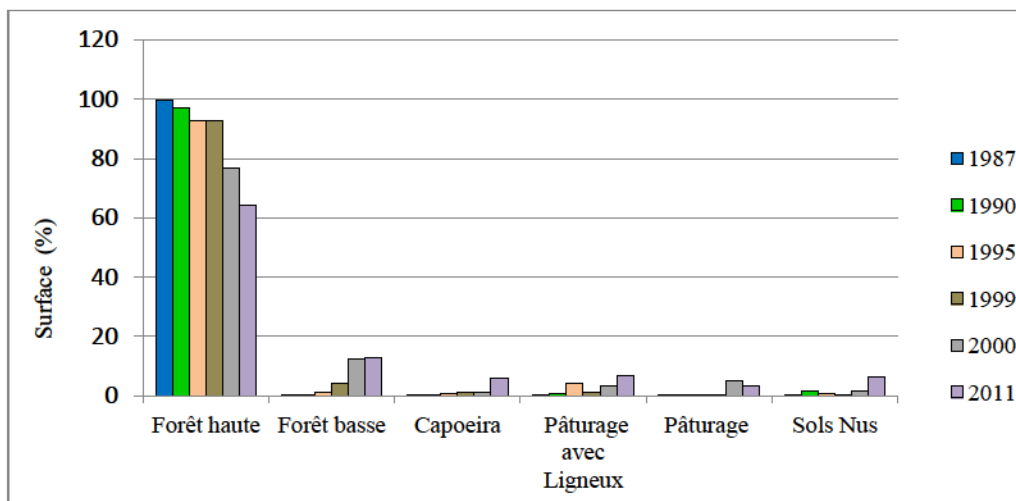


Figure 6.6. Variations de l'occupation des sols par année sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.

Pour les « capoeiras », nous pouvons constater une augmentation continue. Le taux le plus bas enregistré était de 0,14 % en 1987 et le plus haut taux était de 6,05 % en 2011. Pour les autres années, les taux de pourcentage ne dépassent pas 2 %. Les autres thèmes de l'occupation du sol progressent de façon irrégulière avec cependant, pour tous une évolution positive.

6.2. L'historique des usages des sols sur la Fazenda São Nicolau

Au début des années 1980, une société a acheté environ 10.000 ha dans la zone et créé la Fazenda Ariel dans le cadre des nombreux projets de colonisation du Mato Grosso. La ferme commence à explorer la région en déboisant la forêt pour l'exploitation en pâturages et caféiculture. La technique utilisée pour nettoyer la zone correspondait aux brûlis (ONF, 2004). Durant l'existence de la Fazenda Ariel, les usages des sols ont connu plusieurs changements, jusqu'à l'année 1999 où la fazenda a été achetée par l'entreprise française Peugeot. Cette dernière s'est développée en menant une politique de reboisement. Elle s'est déroulée en deux phases.

6.2.1. Dynamique du déboisement

Nous avons reconstitué la dynamique de déboisement sur le site (Figure 6.7) à partir des inventaires forestiers de la Fazenda São Nicolau.

Le déboisement a débuté en 1984, au début de l'existence de la Fazenda Ariel. La partie Sud-est de l'exploitation a été la première à être déboisée. Lors de la deuxième année de déboisement, en 1986, on observe que seulement une petite partie du Nord-est de la fazenda a été affectée. En 1987, ce sont les parcelles situées au centre qui ont été soumises à la déforestation.

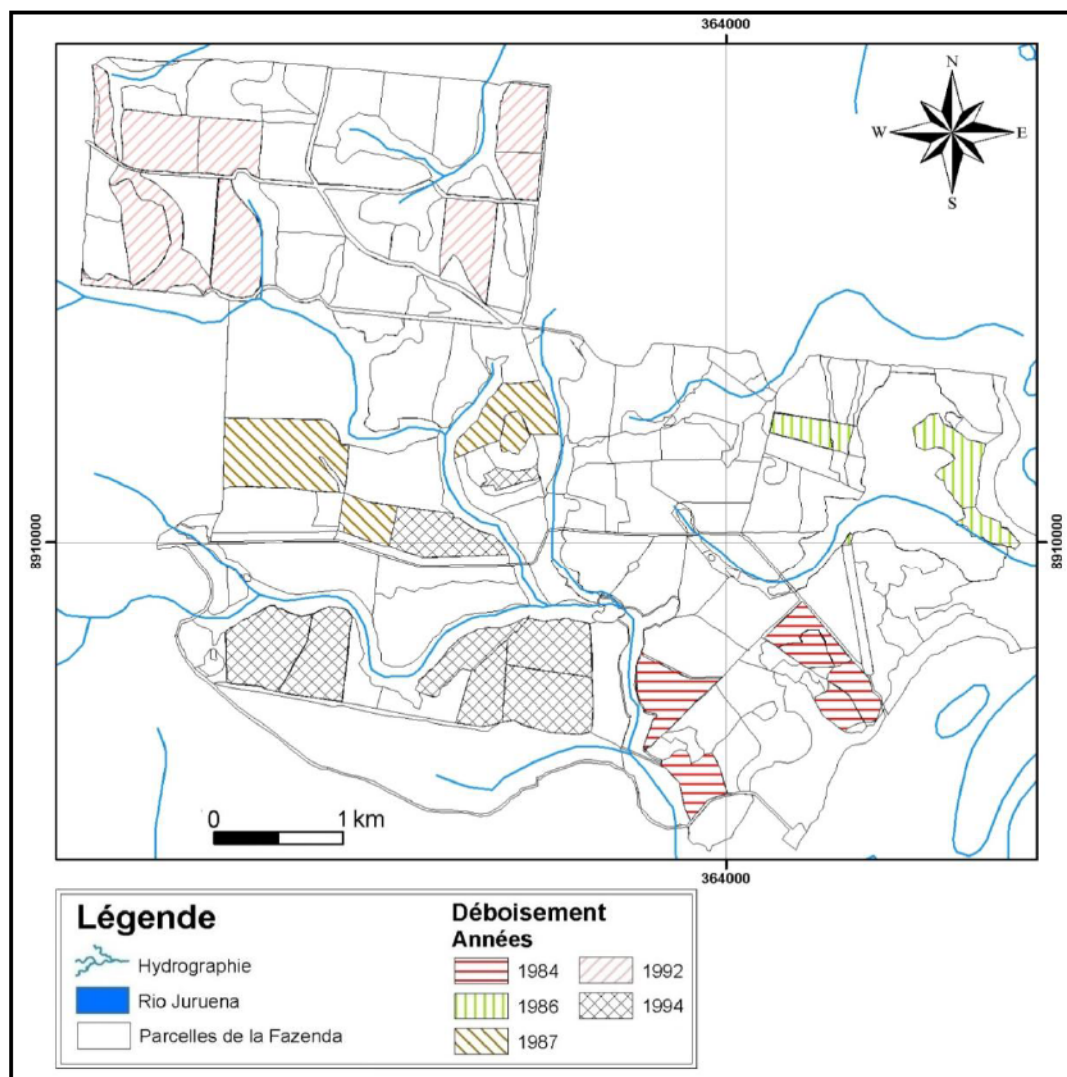


Figure 6.7. Dynamique du déboisement dans les parcelles étudiées de la Fazenda São Nicolau. (Modifiée par L.-A. Nascimento, d'après Estrade, 2010 et ONFB, 2011).

La partie nord a été déboisée à partir de 1992. Toutefois, ces petites parcelles, à l'époque du déboisement, ne faisaient pas partie de l'actuelle délimitation de la zone actuellement exploitée. La dernière année du déboisement correspond à 1994. Selon l'inventaire forestier de la fazenda, l'année 1999, n'a pas été considérée comme une année de déboisement mais comme le début de la phase de replantation forestière et de régénération du couvert. Cette année-là, les parcelles ont été nettoyées pour recevoir une plantation expérimentale.

6.2.2. Dynamique du reboisement

Les plantations forestières mono-espèces (une espèce uniquement dans la parcelle) et mixtes (plusieurs espèces différentes) ont débuté en 1999 et se sont terminées en 2003, sur une surface totale de près de 1800 ha. Deux millions de plants ont été utilisés pour former aujourd'hui une nouvelle forêt. Chaque année, les plantations ont été faites entre les mois d'octobre à mai, pendant la saison des pluies.

Afin de favoriser la croissance des plantations, les surfaces couvertes d'herbacées ont été nettoyées et préparées. Pendant les trois ou quatre premières années de culture,

l'entretien a été fait manuellement au moyen de l'application d'herbicides entre les lignes de plants. Ensuite, il a été possible d'introduire des bovins afin de contrôler le développement des herbacés et petits végétaux, spécialement dans les parcelles à faible densité (Assumpção, 2008).

Les plantations dans les différentes parcelles s'étalent sur plusieurs années et ont été réparties de la façon suivante : 1999/2000 – 1200 ha plantés ; 2000/2001 – 70 ha plantés en remplacement des arbres morts de la première plantation ; 2001/2002 – 350 ha plantés et en 2002/2003 – 400 ha plantés (avec l'insertion de nouvelles espèces ; ONF, 2004). Sur la carte (Figure 6.8), nous constatons que les premiers reboisements se font sur l'ensemble du territoire exploité de la ferme, en 2006 la plantation effectuée vient compléter une parcelle où de nombreuses pertes se sont produites.

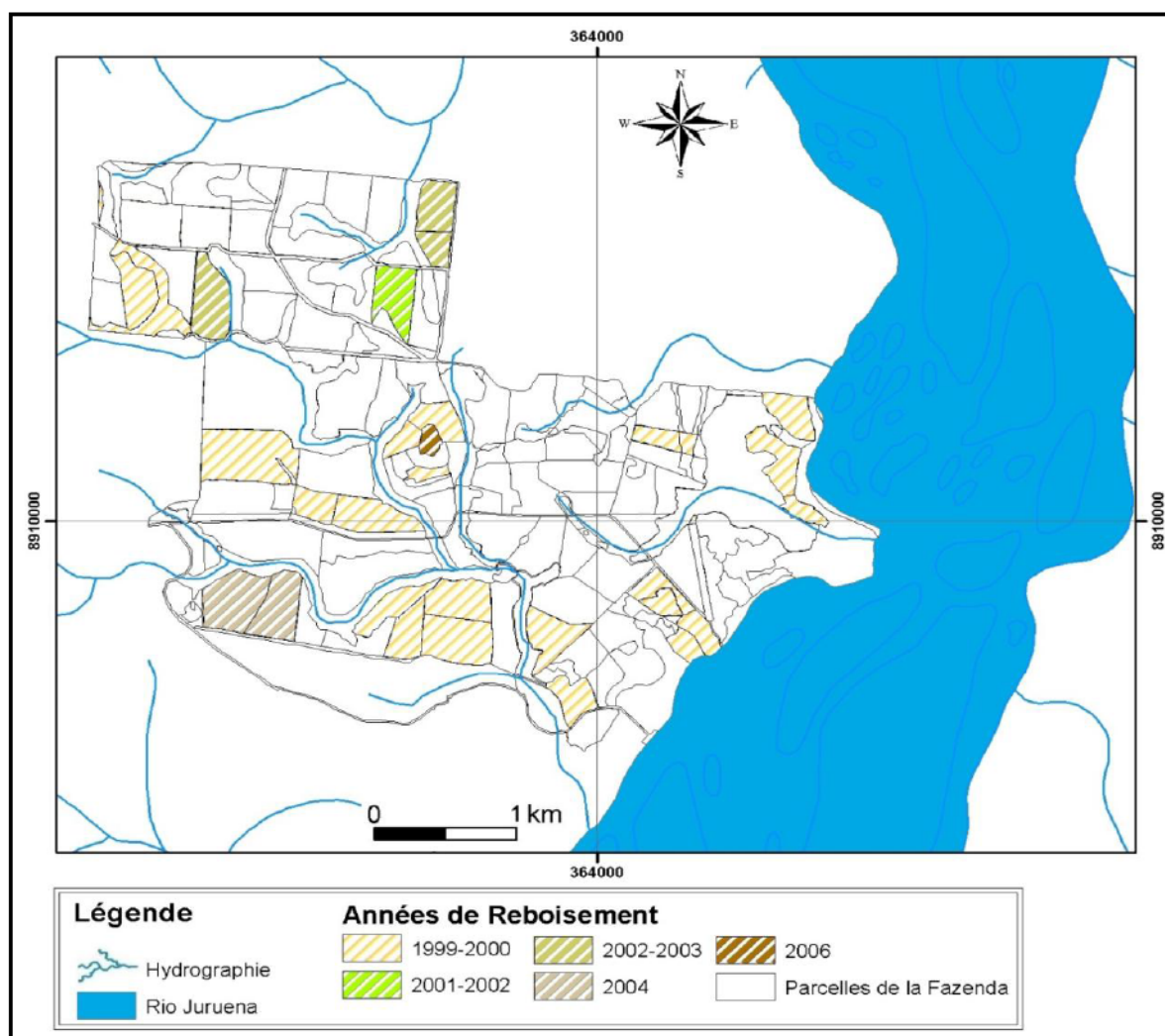


Figure 6.8. Les années de reboisement des parcelles échantillonnées de la Fazenda São Nicolau (Modifiée par L.-A. Nascimento, d'après Estrade, 2010 et ONFB, 2011).

Remarque : Les parcelles en blanc dans la Figure 6.8 sont des aires qui n'ont pas été échantillonnées pour les études du stockage du carbone.

Lors de ce processus, plusieurs espèces natives (amazoniennes et plus largement brésiliennes) et exotiques ont été utilisées (Figure 6.9). Parmi les espèces exotiques on note la présence du Teca (*Tectona grandis*, L. f.) et celle du Jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) qui se caractérisent par une croissance rapide et originaires du Sud et Sud-est

asiatique. Le jamelão est considéré comme une espèce invasive. Les espèces typiquement amazoniennes sont l'Escova de macaco (*Combretum fruticosum*, Htm.), le Cajazeira (*Spondias mombin*, L.) et le Babaçu [*Orbygnia martiana*, (Mart.) Barb. Rodr.], cette dernière est une espèce qui s'implante d'elle-même sur les espaces défrichés et/ou vient se mêler aux jeunes plantations. De nombreuses espèces sont originaires d'autres régions brésiliennes comme la Figueira branca (*Ficus* sp.) qui est natif de la *Mata Atlântica*, le Gonçalves (*Astronium fraxinifolium*, Schott.) du *Cerrado* ; enfin le Freijó (*Cordia goeldiana*, Huber.), l'Ipê rosa (*Tecoma impetiginosa*, Mart), l'Ipê branco [*Tabebuia roseo-alba* (Ridley) Sandwith.] et la Mutamba (*Guazuma ulmifolia*, Lam.) sont largement représentés sur le territoire brésilien.

Nous avons cartographié la distribution des espèces dominantes sur les parcelles échantillonnées de la fazenda (Figure 6.9).

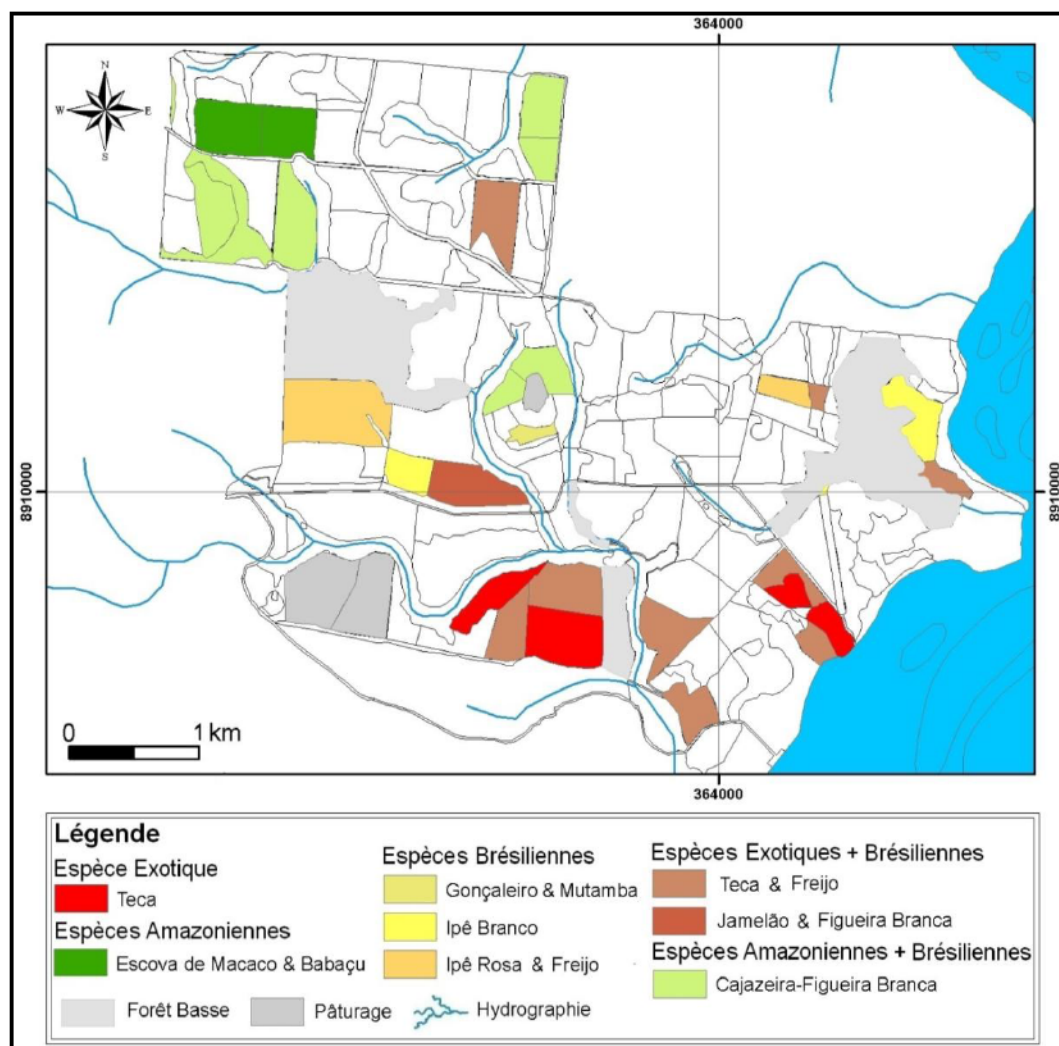


Figure 6.9. Distribution des espèces dominantes sur les parcelles étudiées de la Fazenda São Nicolau. (Modifiée par L.-A. Nascimento, d'après Estrade, 2010 et ONFB, 2011).

Les parcelles de Teca ou de l'association Teca – Freijó sont surtout localisées au Sud-est, c'est-à-dire, des parcelles plantées en 1999 – 2000. Le Jamelão est moins répandu et a été implanté soit en 1999 – 2000, soit l'année suivante en association avec la Figueira branca. Les parcelles en espèces amazoniennes sont représentées par l'association Escova de macaco et Babaçu. Toutefois ces deux espèces natives qui s'implantent naturellement

sans aucune aide, sont devenues dominantes sur certaines parcelles plantées avec d'autres espèces. Les parcelles mixtes d'espèces amazonienne et de la *Mata Atlântica* (Cajazeira – Figueira branca) sont beaucoup plus représentées et se situent essentiellement, comme la précédente, au Nord de la Fazenda. Les plantations en espèces brésiliennes sont peu nombreuses et dispersées. Notons que les parcelles de forêts basses constituent des zones protégées susceptibles d'évoluer en forêt haute.

En 2003, en raison de la difficulté de trouver des boutures dans la région, une pépinière a été installée dans la propriété, avec une capacité de production de 20.000 boutures par an. Le choix des espèces produites est basé sur les critères suivants : disponibilité des semences, rendement, compétitivité avec les plantes invasives, résistance aux ravageurs et aux maladies et adaptabilité aux conditions environnementales locales.

Le suivi des plantations s'effectue à partir d'inventaires réguliers grâce à un dispositif de placettes permanentes. Les mesures indiquent des taux de réussites compris entre 70 et 90 % selon les essences et les modes de plantation. Les six essences qui se sont le mieux implantées sont : Figueira branca, Cajazeira, Freijó, Caixeta, Ipê rosa et Teca. Elles ont permis des taux de réussite de 90 % et des croissances de l'ordre de 2 m /an sur les premières années (Verneyre, 2007). Après la plantation, les parcelles se régénèrent avec seulement une manutention pour l'entretien des parcelles, ainsi que quelques revitalisations dans certaines parties.

6.3. L'usage des sols sur l'Assentamento Vale do Amanhecer

Créé en 1999 sur la Fazenda Linoena, l'Assentamento Vale do Amanhecer possède une superficie totale de 14.715,81 ha dont 7.129,08 ha sont destinés à la création d'une réserve forestière en cogestion entre les différents propriétaires. La surface restante a été parcellisée en 250 lots appartenant à 250 propriétaires en vue d'une exploitation agricole ou de fonctions résidentielles (Vargas, 2006). En 1998, la Fazenda Linoena possédait seulement 300 ha de pâturages dispersés dans l'espace du futur assentamento, le restant se trouvant encore à l'état de forêts.

Le statut de réserve forestière a été préparé par le Ministère de l'Environnement brésilien en 1991 et l'assentamento devait s'inscrire dans ce programme, mais, lors de sa création, un projet de développement durable a été exigé par l'Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Pour cela, l'Institut a proposé la mise en place de Systèmes Agro - Forestiers (SAFs, IBGE, 2006) afin que les propriétaires puissent produire durablement en faisant en sorte que les conditions du milieu (sol, eau, biodiversité) soient maintenues ou améliorées en même temps que le système reste productif. Seuls 68 exploitants sur 250 « assentados » font partie de l'association des producteurs de l'Assentamento Vale do Amanhecer qui adhère aux SAFs. Sur ces 68 personnes 7 appartiennent au projet « enrichissement de la capoeira », 12 à celui de développement d'un système agro-sylvo-pastoral et 49 à celui du système sylvo-pastoral (Figure 6.10).

Le système « enrichissement de la capoeira ». Ce système consiste à accélérer les processus de régénération des « capoeiras » ou *boisements secondaires* issus d'une première étape de déboisement (IBGE, 1991). Dans ce cas, les terres ont été temporairement utilisées pour l'agriculture ou le pâturage et une végétation arborée émerge spontanément après l'abandon de ces activités (Souchiel *et al.* 2005). Parmi les espèces ligneuses reconnues dans la « capoeira », on note la présence de Babaçu [*Orbygnia martiana*, (Mart.) Barb. Rodr.], de l'Ipê branco [*Tabebuia roseo-alba* (Ridley) Sandwith.], de l'Ipê rosa (*Tecoma impetiginosa*, Mart.), de l'Urucum (*Bixa orellana*, L.), de la

Cajazeira (*Spondias mombin*, L.), de l'Escova de macaco (*Combretum fruticosum*, Htm.), du Gonçalves (*Astronium fraxinifolium*, Schot.) d'Andiroba (*Carapa Guianensis*, Aubl.), de la Copaíba (*Copaifera oblongifolia*, Desf.), du Cupuaçu [*Theobroma grandifolium*, (Willd. ex Spreng.), Schum.] et du Freijó (*Cordia goeldiana*, Huber.).

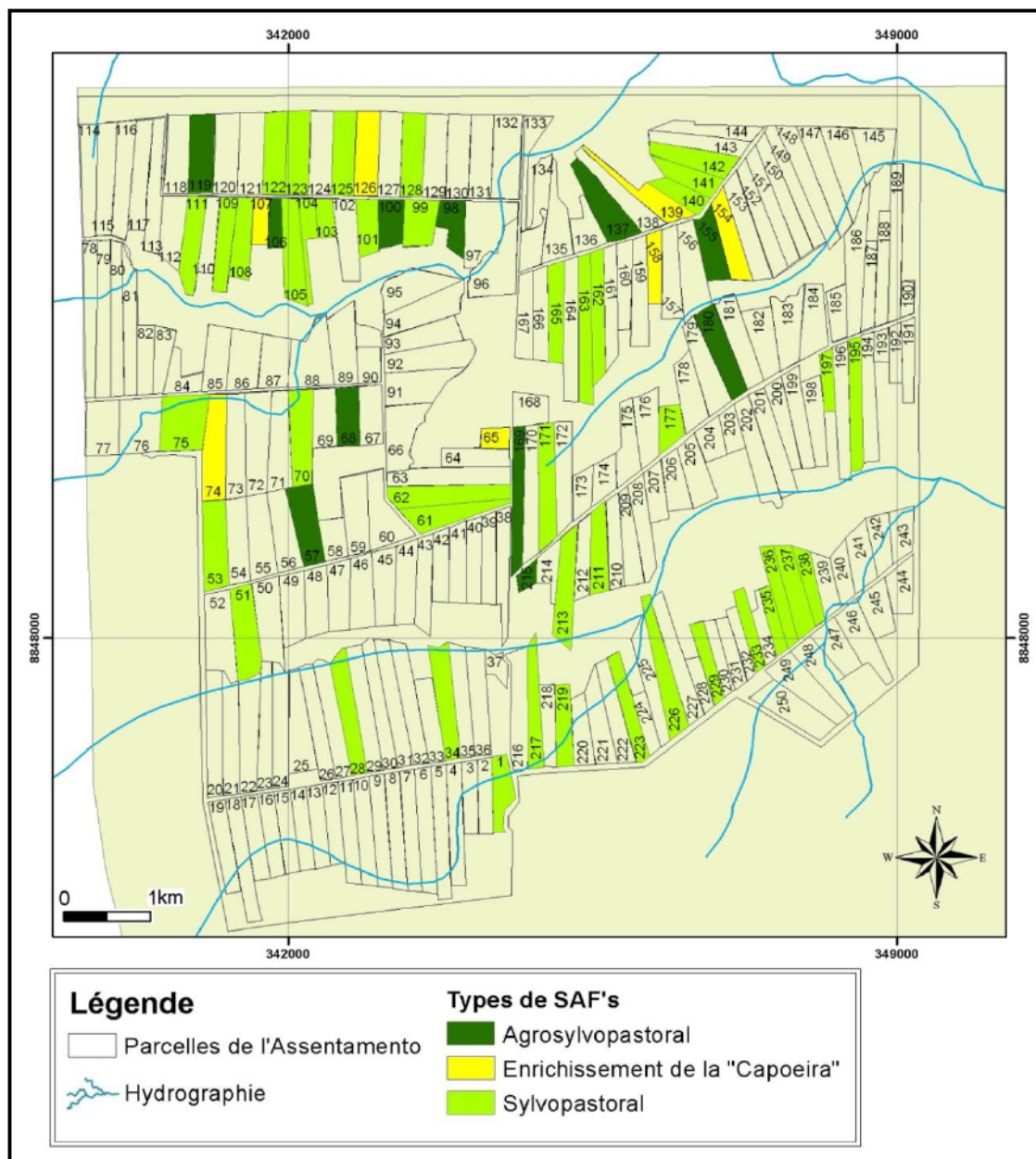


Figure 6.10. Distribution des différents types de SAF sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.

Le système agro-sylvo-pastoral connaît un succès limité, quoiqu'un peu plus élevé que le précédent. Il combine sur la même parcelle la présence des arbres avec des cultures et de l'élevage. Leur nombre est légèrement plus élevé au nord de l'Assentamento. C'est un système multi-étagé dans lequel les producteurs cultivent des haricots, du manioc et du maïs. Ils ont principalement planté des palmiers Pupunha (*Bactris gasipaes*, Kunth.) et l'Açaí (*Euterpe oleracea*, Htm.), tous deux appartenant à des espèces locales.

Le système sylvo-pastoral a été privilégié par la plupart des adhérents à l'Association des Producteurs de l'Assentamento Vale do Amanhecer. Dans ce système, y

sont associés les arbres (les mêmes espèces que sur la « capoeira ») et les pâturages. Leur répartition est dispersée sur toute l'assentamento.

Les autres propriétaires, qui ne font pas partie du projet de systèmes agro-forestiers, font dans leurs parcelles des cultures de subsistance et, comme source de revenus, les pâturages pour l'élevage. Au cours des travaux sur le terrain, nous avons constaté que de nombreux producteurs utilisent toujours le brûlis comme un moyen pour le nettoyage des lots (Photo 6.1).



Photo 6.1. Parcelle de l'Assentamento Vale do Amanhecer après le nettoyage par brûlage.
(Photographie : L.-A. Nascimento, août 2012).

Le brûlis est également utilisé dans les pâturages pour éliminer la végétation non appréciée par le bétail, les mauvaises herbes. Il s'agit de la méthode la moins coûteuse pour nettoyer un pâturage, en revanche, elle peut réduire la matière organique du sol et engendrer une diminution de la fertilité des sols à long terme.

6.4. L'usage des sols sur la Fazenda Preciosa

Dans les années 1980, la fazenda a été créée sous le nom de Gleba Mordam Agriculture. En 1985, elle a été rachetée par la famille Faïta. À cette époque, la fazenda était une grande exploitation destinée à l'élevage bovin P.O. (Pur Origine) pour la reproduction, mais conservant une part de forêt. Entre 1987 et 1999, les propriétaires ont augmenté les espaces réservés aux pâturages en défrichant une petite partie de la forêt. Cependant, dans le secteur sud-est de la fazenda, ils ont éclairci la végétation pour en faire des pâturages avec ligneux. En 2000, le propriétaire commence la plantation de *Teca* (*Tectona grandis*, L. f.) sur plus de 800 ha de la fazenda (Figure 6.9) tout en maintenant son activité d'élevage. Selon les informations du propriétaire, pendant l'année 2014 a eu lieu la première commercialisation de la *Teca*, et pendant l'année 2015 une nouvelle plantation de *Teca* sera commercialisée. 90 % des pâturages de la fazenda sont aujourd'hui mécanisés, les graminées utilisées sont les espèces Braquiária (*Brachyaria decumbens*, Stapf.) et Panicum (*Panicum maximum*, Jacq.).

En 2012, le propriétaire rebaptise l'exploitation du nom de Fazenda Preciosa.

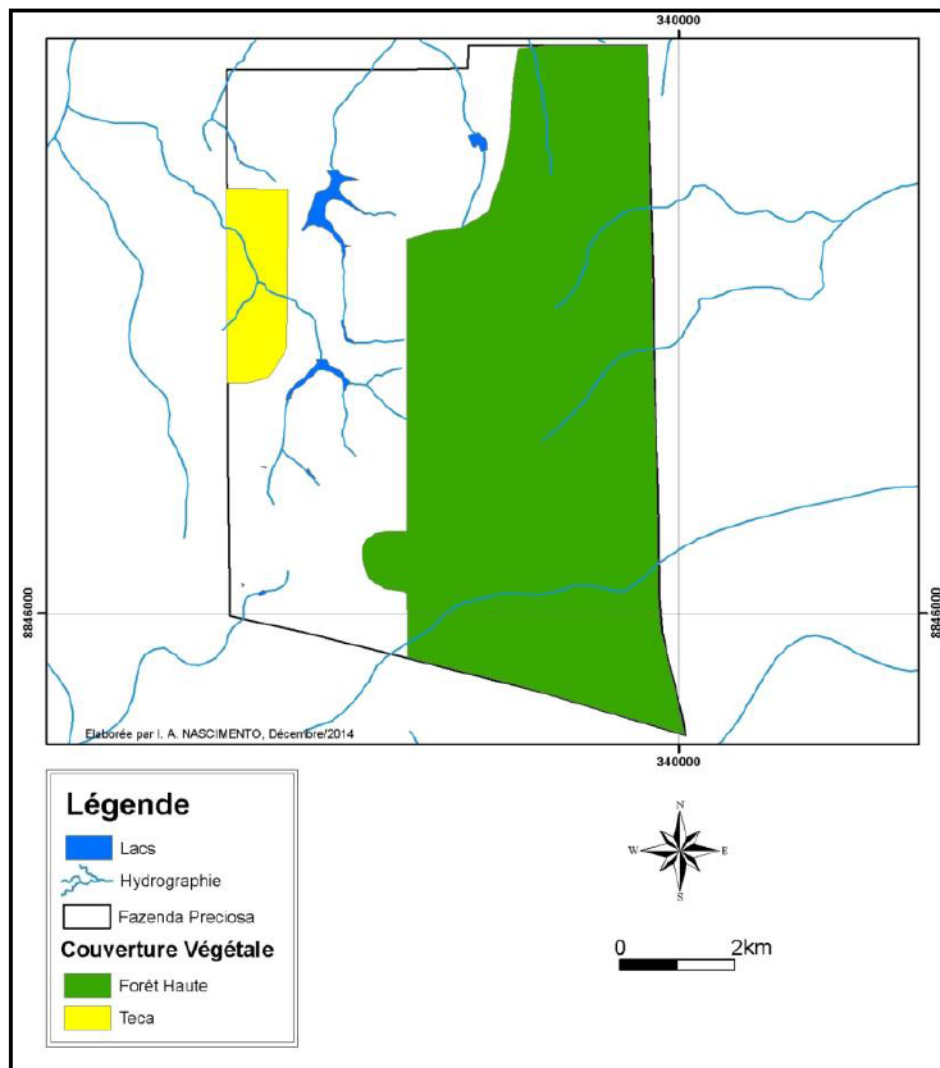


Figure 6.11. Localisation des parcelles de culture de Teca sur la fazenda Preciosa.

Conclusion du chapitre 6

Les dynamiques d'exploitation des terres sur les trois exploitations divergent en fonction des stratégies utilisées et de l'historique de chacune d'entre elles.

Sur la Fazenda São Nicolau, si les forêts hautes ont beaucoup diminué en 24 ans, la politique de reboisement du dernier propriétaire en fait une exploitation originale par rapport aux deux autres. L'implantation des surfaces reboisées s'est essentiellement faite au détriment de la forêt basse, les autres thèmes d'occupation du sol étant restés peu représentés sur toute la période et ont peu évolué.

La Fazenda Preciosa est restée une exploitation productrice de bovins avec une occupation du sol marquée par un recul important des forêts hautes. En termes de surfaces des autres différents thèmes il y a relativement peu de variations, seuls les pâturages avec ligneux et les sols nus sont en augmentation sur 25 ans. Ces derniers traduisent les processus de restauration des pâturages qui se manifestent également par la variabilité spatiale de l'occupation des sols par les différents thèmes sur la fazenda (cf. chapitre 5).

L'Assentamento Vale do Amanhecer est une création récente dont le projet s'inscrit dans une perspective de développement durable dans le cadre d'une exploitation raisonnée des terres. Du fait de la mise en valeur des terres à partir d'une forêt presque intacte, on note un recul considérable de celle-ci qui est remplacée par de la forêt basse et en quantité à peu près identique par les « capoeiras », les pâturages, les pâturages avec ligneux et les sols nus.

Conclusion de la partie 2

La prédominance du climat équatorial et tropical humide avec une courte saison sans pluies est une caractéristique présente dans les plateaux de la partie Nord-ouest de l'État du Mato Grosso, où on peut encore observer des secteurs des forêts naturelles, qui n'ont pas été déboisées.

Sous cette forêt et en fonction du substrat géologique correspond au craton amazonien dans un couloir de roches ignées intrusives et métamorphiques il y a l'association entre ces types climatiques et des sols tropicaux plus ou moins évolués et conservés. Pourtant l'action des processus d'érosion, plus ou moins anciens et favorables à une ablation partielle de la couverture pédologique, a mis à nu ces roches et les altérations présentes qu'on peut observer dans les affleurements sur les sommets et la partie amont des réseaux de drainages des exploitations étudiées.

De cette manière dans les sites étudiés on peut observer dans la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer la prédominance d'une couverture végétale arborée à côté de pâturages développés sur sols épais du type argisols, latosols et entisols dans les secteurs avec présence des affleurements de roches granitiques saines ou altérées. Sur la rive gauche du rio Juruena les forêts dominent sur des sols alluviaux sableux et quartzeux.

Sur la Fazenda São Nicolau la forêt naturelle est présente sur les sols épais développés sur un plateau supérieur où prédominent les argisols et latosols. Les pâturages sont présents sur les interfluves et dans les entailles des vallons. Localement les roches gneissiques granitiques et les migmatitiques affleurent dans les parties plus élevées. Sur la bordure gauche du rio Juruena on trouve des forêts développées sur des sols alluviaux également sableux et quartzeux.

En ce qui concerne à la classification supervisée par maximum de vraisemblance, on a pu identifier huit classes à partir d'échantillons terrain qui ont servi de points d'entraînement. Cependant, comme signalé à propos de l'occupation du sol en 1995 sur la Fazenda Preciosa, quelques doutes sont possibles pour différencier ces classes.

Sur les trois exploitations les classes d'occupation du sol se ressemblent, avec une différence considérable liée à l'existence de la classe de reforestation sur la Fazenda São Nicolau. Par contre nous constatons un schéma d'occupation des sols fréquent, sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer. L'exploitation des terres sur les trois sites étudiés est différente en raison des pratiques agricoles utilisées et de ses histoires.

Sur la Fazenda São Nicolau, si les forêts hautes ont beaucoup diminué en 24 ans, la politique de reboisement de l'ONF-Brasil, en fait une exploitation originale par rapport aux deux anciens propriétaires de l'époque de la Fazenda Ariel.

La Fazenda Preciosa présente actuellement une forte exploitation d'élevage de bovins avec une occupation du sol marquée par un recul important des forêts hautes.

L'Assentamento Vale do Amanhecer est création récente dont le projet s'insère dans le développement durable dans le cadre d'une exploitation raisonnée des terres.

Partie 3

Les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols des exploitations étudiées. Les interactions entre les données du carbone et les composantes du sol.

Introduction de la Partie 3.

Chapitre 7. Les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols.

Chapitre 8. Les interactions entre les données du carbone et les composantes du sol.

Chapitre 9. Les classes de stock de carbone, l'occupation des sols et les textures

Synthèse et discussion de la Partie 3

Introduction de la Partie 3

Les sols correspondent à la partie la plus superficielle de l'écorce terrestre, à l'interface entre lithosphère, biosphère et atmosphère dont les interactions influencent leur développement. De plus, ils possèdent des constituants minéraux, provenant de l'altération de la roche-mère, des constituants organiques, venus de la décomposition d'êtres vivants et des constituants gazeux circulant dans ses interstices.

Les sols sont composés de particules dont la taille varie d'un sol à un autre, donnant à chacun une texture spécifique. La texture du sol conditionne en partie un certain nombre de leurs propriétés physico-chimiques comme l'agrégation, la circulation de l'air et de l'eau dans le sol, la capacité d'échange (Silveira *et al.* 2011). Nous avons vu précédemment que les auteurs s'entendent pour reconnaître le rôle de la fraction argileuse dans le stockage du carbone organique.

L'interaction de la matière organique avec la fraction argile possède une forte influence dans le développement de la structure du sol. La formation et la stabilisation d'agrégats dans le sol améliore l'aération et l'infiltration, étant une des fonctions les plus importantes de la matière organique. Le comportement de la matière organique et la libération du carbone comme son stockage peuvent être liés à de nombreux facteurs relevant des caractères du sol lui-même mais aussi de la couverture végétale et des pratiques agricoles.

Dans cette troisième partie, notre objectif est de caractériser les sols des trois exploitations étudiées, de comprendre les relations entre le carbone et les différents paramètres du sol et enfin de mettre en relation la distribution des stocks de carbone avec les paramètres du sol et les types d'occupation du sol. Pour comprendre les positionnements des différents classes de stock de carbone, nous avons spatialisé les 10 classes de stocks de carbone sur une carte pour chaque exploitation étudiée. À partir de cette spatialisation, dans un premier temps nous pouvons établir le croisement de données entre le stock de carbone et l'occupation du sol. En deuxième temps, nous avons fait le même processus pour les données entre le stock de carbone et les textures.

Chapitre 7

Les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols

Chapitre 7 – Les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols

Introduction du chapitre 7

Comme il a été indiqué ci-dessus (cf. partie 1, chapitre 3), la texture exprime l'abondance en pourcentage des particules minérales du sol, en distinguant la phase grossière (> 2mm) de la phase fine constituée de sables, de limons et d'argiles. Selon Prado (1991) les différentes proportions de ces composants sont classées et dénommées à l'aide de triangle de classification texturale.

Comme de nombreux auteurs l'ont montré depuis le début de la pédologie, la texture des sols conditionne beaucoup de caractéristiques physiques et chimiques du sol, qu'il s'agisse de la structure, de la circulation de l'air et de l'eau comme des propriétés d'échanges chimiques.

La texture a un rôle dans les capacités d'un sol à fixer le carbone (Fearnside *et al.* 1998 ; Lal *et al.* 2004 ; Castro *et al.* 2007 et Resck *et al.* 2008) et notamment la fraction argileuse, indépendamment de sa composition minéralogique et chimique, même si celle-ci intervient également.

Dans ce chapitre, nous présentons les deux étapes qui nous ont permis d'établir une classification texturale des sols des trois exploitations : définition des classes texturales à partir du triangle des textures puis contrôle par l'analyse statistique et élaboration des classes définitives.

Les propriétés chimiques, géochimiques et minéralogiques des sols sont également un facteur essentiel dans le comportement de la Matière Organique et de la production du Carbone et de son stockage. C'est ce que nous présenterons dans un deuxième temps.

7.1. Les grands types de texture de sols des exploitations

7.1.1. La classification par diagramme de texture

Les données granulométriques montrent deux fractions dominantes dans la composition granulométrique des sols des trois exploitations (Tableau 7.1) : l'argile et les sables. Les pourcentages maximum de limons ne dépassent pas 25 % de la terre fine et la moyenne est comprise entre 5,5 et 8,63 %. C'est sur la Fazenda São Nicolau que les sols sont les plus pauvres en limons.

Tableau 7.1. La composition granulométrique des sols échantillonnés sur les 3 exploitations

	Argiles (%)				Lavons (%)				Sables (%)			
	Min	Max	My	ET	Min	Max	My	ET	Min	Max	My	ET
São Nicolau	3,60	59,88	22,45	14,20	0,00	16,64	5,55	3,52	31,20	94,52	71,82	13,67
Assentamento	4,32	84,76	27,74	15,28	2,38	23,36	8,63	5,25	1,20	91,64	61,63	17,03
Preciosa	4,32	48,80	22,15	11,96	2,16	15,48	8,07	2,57	43,80	93,52	69,78	11,51

Les argiles et les sables montrent une grande dispersion des valeurs, avec des écart types (ET) élevés, 11 à 14 pour les argiles, 11 à 17 pour les sables. Sur l'ensemble des trois exploitations, les teneurs en argiles ont des valeurs minimales très homogènes entre 3,60 (Fazenda São Nicolau) et 4,32 % (Assentamento Vale do Amanhecer et Fazenda Preciosa). Les valeurs maximales sont plus dispersées de 48,80 sur Preciosa à 84,76 % sur

l'assentamento, et une valeur intermédiaire de presque 60 % à São Nicolau. Les moyennes d'un peu plus de 22 % sur la Fazenda Preciosa et sur la Fazenda São Nicolau et 27,74 % sur l'Assentamento Vale do Amanhecer indiquent une dissymétrie de la répartition avec des échantillons à forte teneur peu nombreux. Toutefois ces valeurs semblent indiquer que les sols de l'assentamento sont globalement plus riches en argiles que ceux des deux autres fermes.

Les sables sont les plus représentés. Les valeurs minimales sont élevées avec 31,20 % sur la Fazenda São Nicolau et de 43,80 % sur la Fazenda Preciosa, en opposition à la valeur minimale enregistrée sur l'assentamento qui n'est que de 1,20 %. Les valeurs maximales sont très proches et comprises entre 94,52 et 91,64 %. Les valeurs moyennes de pourcentages présentent une plus grande dispersion avec une fourchette comprise entre 61,63 et 71,82 %, l'assentamento ayant la plus faible moyenne. Sa valeur de plus de 60 % par rapport à la valeur minimale indique bien une dissymétrie beaucoup plus marquée de la distribution des sables sur l'Assentamento Vale do Amanhecer que sur les deux autres exploitations, dispersion confirmée par la valeur de l'écart type.

Cette première approche permet d'avancer que la texture des sols est dominée par les sables (valeurs moyennes toujours supérieurs à 60 %) mais que l'Assentamento Vale do Amanhecer possède des sols plus riches en argiles, mais aussi en limons que les deux autres exploitations.

La projection des résultats granulométriques des échantillons sur un diagramme triangulaire permet de qualifier et préciser la texture des sols de chacune des exploitations. Dans chaque sommet du triangle sont représentées les fractions granulométriques avec 100 % d'une des fractions considérées (sable, limon ou argile).

Les 111 échantillons prélevés sur la Fazenda São Nicolau (Figure 7.1) se localisent en majorité sur le pôle sableux du diagramme et toujours décalés vers l'axe sable – argile du fait des faibles teneurs en limons. On distingue 6 classes principales : sableuses (S), sablo- limoneuses (SL), limono-sableuse (LS), limono-argilo-sableuse (Las), argilo-sableuse (AS) et argileuse (A). Seul un échantillon est classé en limono-argileux et présente une texture plus équilibrée.

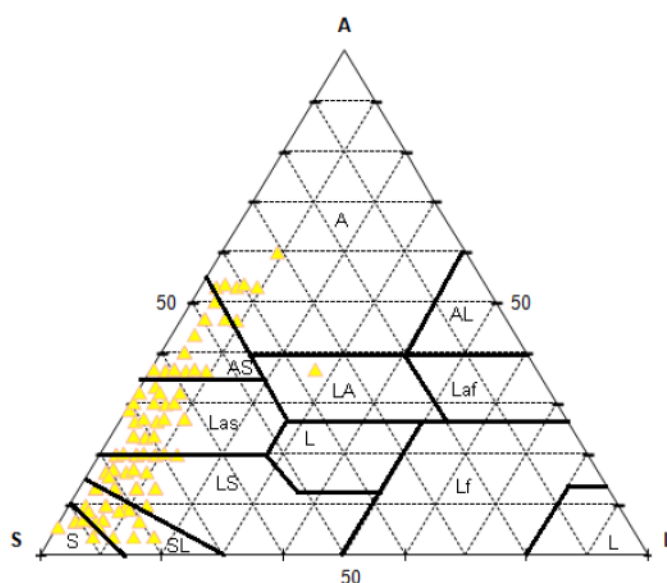


Figure 7.1. La texture des sols de la Fazenda São Nicolau
(D'après le diagramme de texture de l'USDA 1960).

Les sols sableux sont particulièrement peu représentés (4) de même que les sols argileux (7) avec l'un qui se démarque par rapport aux autres (10 % de limons, 30 % de sables et 60 % d'argiles). Les échantillons de sols argilo-sableux sont répartis de façon hétérogène avec un maximum d'entre eux concentrés dans un secteur proche des sols limono-argilo-sableux. L'essentiel des sols sont de texture sablo-limoneuse à limono-argilo-sableuse avec des pourcentages de sables supérieurs à 60 % et d'argiles compris entre 4 et 35 %.

Comme sur la Fazenda São Nicolau, un certain nombre d'échantillons sont situés aux limites de deux classes et peuvent poser un problème de définition de classe.

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, les 123 échantillons de sols analysés sont répartis sur les mêmes classes que précédemment (Figure 7.2). On distingue des différences notables par rapport à la Fazenda São Nicolau. La classe sableuse est très peu représentée (2 échantillons). La classe argileuse est représentée par un nombre d'échantillons identique mais ceux-ci sont très dispersés avec notamment 3 d'entre eux caractérisés par 14 à 19 % de limons, 80 à 85 % d'argiles et seulement moins de 3 % de sables. L'essentiel des échantillons se situe dans les classes limono-argilo-sableuses et argilo-sableuses, avec des valeurs d'argile comprises entre 20 à 50 % et de sables entre 45 et 80 %. Les classes sablo-limoneuses et limono-sableuses sont relativement peu représentées.

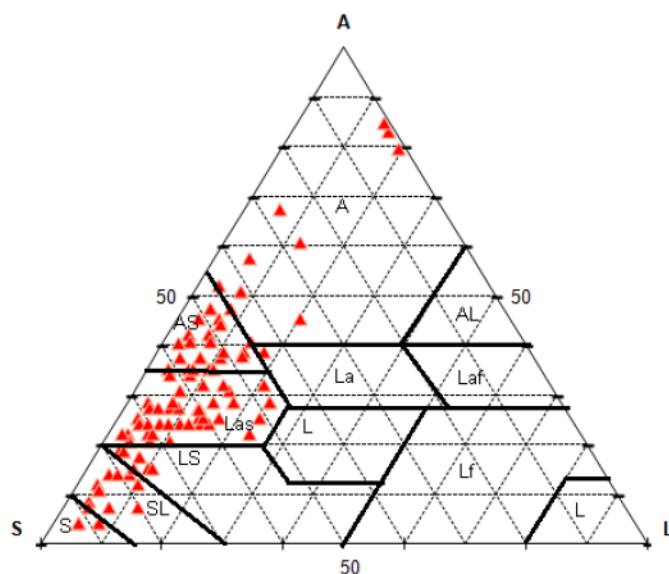


Figure 7.2. La texture des sols de l'Assentamento Vale do Amanhecer
(D'après le diagramme de texture de l'USDA 1960).

Dans l'ensemble, contrairement à ce que laissaient supposer les valeurs brutes exprimées sur le tableau 7.1, les sols de l'Assentamento Vale do Amanhecer présentent une relative homogénéité.

Sur la partie échantillonnée de la Fazenda Preciosa, les 45 échantillons se divisent en 5 classes (Figure 7.3) : sableuses, sablo-limoneuses, limono-sableuses, limono-argilo-sableuse et argilo-sableuse. Les échantillons sont peu nombreux dans les classes sableuse, sablo-limoneuse et argilo-sableuse. Les échantillons de sols sont concentrés sur les classes limono-sableuse et surtout limono-argilo-sableuse, pour cet ensemble, des échantillons ayant des valeurs d'argile comprises entre 10 et 30 %, des valeurs de sables entre 60 et 75 %, les limons étant présents dans des proportions de 4 à 12 % environ.

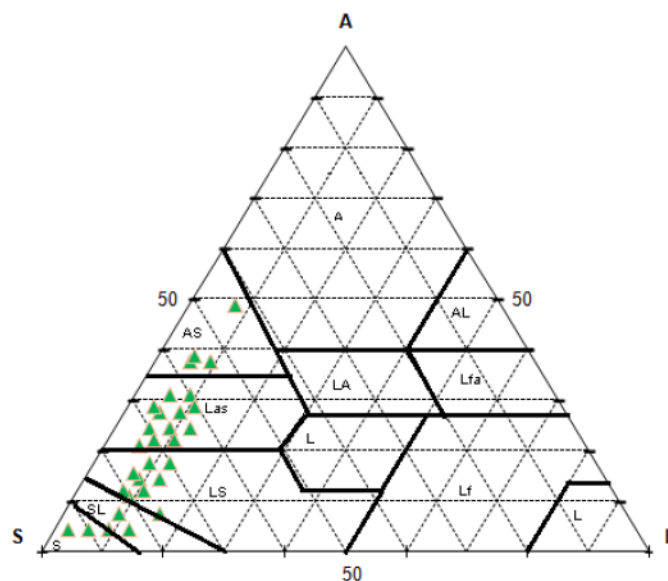


Figure 7.3. La texture des sols de la Fazenda Preciosa
(D'après le diagramme de texture de l'USDA 1960).

De façon générale, on note des caractéristiques texturales différentes d'une exploitation à l'autre. Sur le tableau 7.2, nous avons indiqué pour chacune des exploitations les caractères essentiels. On constate que l'Assentamento Vale do Amanhecer possède des sols plus riches en argile que la Fazenda São Nicolau dont les sols sont les plus sableux de toutes les exploitations. La Fazenda Preciosa étant intermédiaire entre les deux.

Tableau 7.2. Caractéristiques texturales dominantes des sols des trois exploitations.

	Classes	Fourchettes de valeurs d'argiles	Fourchettes de valeurs de sables
Fazenda São Nicolau	SL, LS, Las	4 – 35 %	60 – 90 %
Assentamento Vale do Amanhecer	Las, AS	20 – 50 %	45 – 80 %
Fazenda Preciosa	LS, Las	10 – 30 %	60 – 75 %

7.1.2. La classification par l'Analyse en Composantes Principales – ACP

Nous avons testé la classification texturale des sols par les diagrammes triangulaires en utilisant des méthodes statistiques. Les modèles statistiques adoptés sont les cercles de corrélations et la classification par la méthode hiérarchique ascendante en utilisant les composantes principales. Le cercle des corrélations obtenu dans une première étape (Figure 7.4) montre bien sur l'axe 1 la corrélation négative entre les sables et les argiles. Sur l'axe 2, on trouve les limons en position négative, marquant ainsi une relation complémentaire de cette fraction avec les fractions sableuses et argileuses.

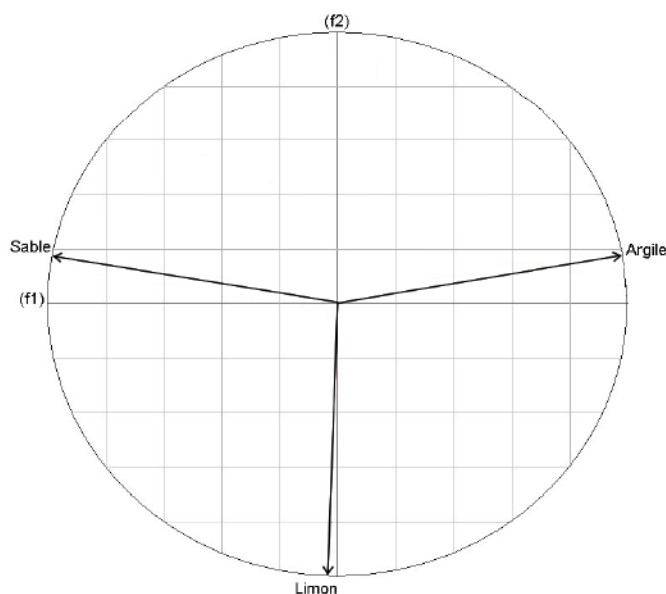


Figure 7.4. Cercle de corrélation des trois fractions granulométriques entre les 278 échantillons.

L'Analyse en Composantes Principales est une méthode efficace pour regrouper des individus par ressemblance et obtenir une identification et une classification texturale. Nous avons donc projeté les 7 classes de texture obtenues par la méthode des diagrammes triangulaires sur les axes factoriels du cercle de corrélations par la méthode des *S-Class*. Le résultat nous a indiqué des confusions entre classes pour certains individus (échantillons de sols).

Une classification statistique par la méthode hiérarchique (méthode de Ward) a été réalisée de façon à rassembler par classe les individus ayant le maximum de similitude. Dans un premier temps nous avons choisi 7 classes en partant de l'hypothèse d'un regroupement des échantillons mal classés dans une classe adéquate. Un dendrogramme avec 7 classes a été obtenu et les nouvelles classes projetées sur les axes 1 et 2 de l'ACP (Figure 7.5).

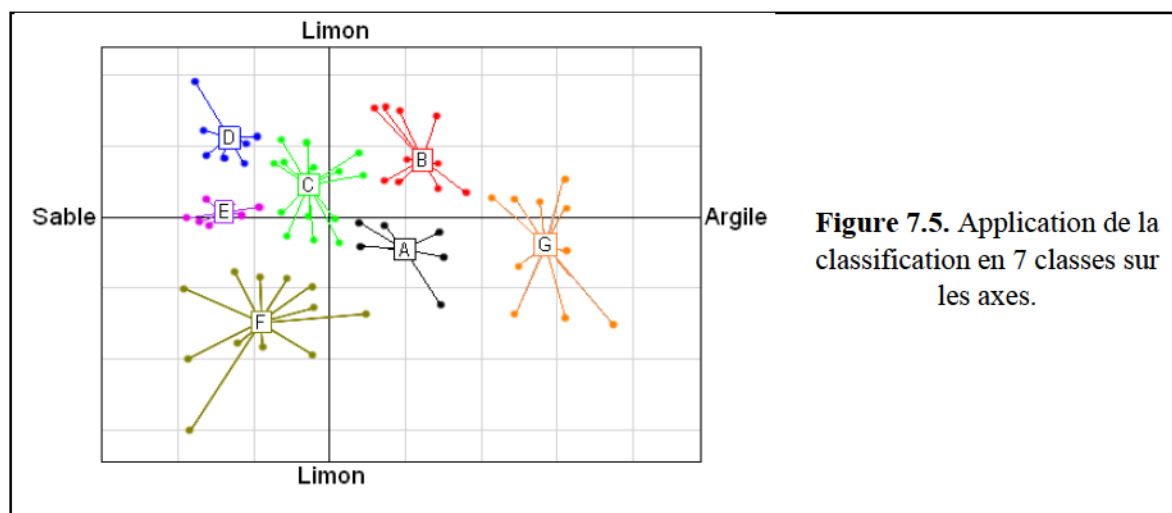


Figure 7.5. Application de la classification en 7 classes sur les axes.

La figure 7.5 montre qu'il y a un meilleur regroupement mais avec toujours des individus ayant une distance trop importante par rapport au centre. L'analyse du dendrogramme échantillon de sol par échantillon de sol dans chacune des 7 classes confirme qu'il existe encore un certain nombre de confusions.

On a refait une classification avec l'utilisation de 9 classes de texture avec un résultat satisfaisant quant à sa projection sur les axes 1 et 2 (Figure 7.6). Nous notons un meilleur regroupement avec les classes A, B, C, G sur le pôle sableux, B se distinguant par sa plus grande richesse en limons et A par sa teneur plus élevée en argiles.

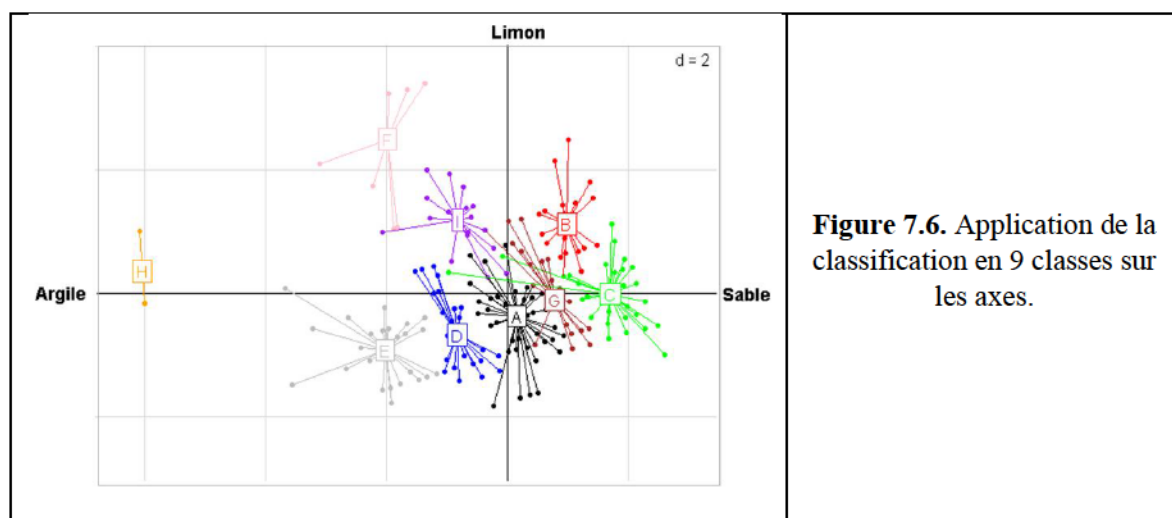


Figure 7.6. Application de la classification en 9 classes sur les axes.

Les cinq autres classes sont structurées par la fraction argileuse. Elles se distinguent les unes des autres par des teneurs plus ou moins grandes en limons (F) et en sables (H).

Ces 9 classes sont présentées sur le tableau 7.3 où sont précisées les fourchettes des valeurs de chaque fraction granulométrique. Les deux classes qui s'ajoutent aux précédentes sont les classes H et I.

Tableau 7.3. Les 9 classes texturales adoptées.

Classes	nombre	Textures	Argile %	Limon %	Sable %
A	66	Sables Argileux	23 – 25	2 – 7	65 – 68
B	28	Sables Limoneux	5 – 10	8 – 12	76 – 78
C	50	Sables	6 – 15	3 – 5	75 – 90
D	37	Argile Sableuse	30 – 40	3 – 5	50 – 55
E	30	Argile	43 – 67	2 – 7	30 – 50
F	10	Argile Limono Sableuse	28 – 45	14 – 23	30 – 50
G	33	Sable Argilo Limoneux	15 – 20	6 – 10	60 – 70
H	3	Argiles Lourdes	79 – 84	14 – 19	1 – 2
I	20	Argiles Sablo Limoneuse	25 – 30	10 – 17	53 – 66

Les classes A (Sables argileux) et C (sables) sont les plus représentées avec au total 116 échantillons, soit environ 40 % des échantillons analysés. Les classes B (sables limoneux), D (argiles sableuses), E (argiles) et G (sables argilo-limoneux) avec un nombre d'échantillons par classe compris entre 28 et 37, constituent environ 46 % de l'ensemble. Les autres classes sont peu à très faiblement représentées. Si l'on considère les classes où prédominent les sables (>60 %), elles représentent 64 % des échantillons.

La composition de ces nouvelles classes montre 3 classes définies par le pourcentage d'argile (en rouge sur le tableau 7.3), les classes de sables correspondantes ayant des

teneurs dispersées entre 60 et 70 % pour 2 d'entre elles. Les classes B et C se différencient par la teneur en limons avec des valeurs de sables proches (en bleu sur le tableau 7.3). Il en est de même pour les classes E et F qui ont des valeurs identiques de sables, des valeurs relativement distinctes d'argiles mais très différentes de limons (en vert sur le tableau 7.3). Enfin, deux autres classes sont discriminées par les limons les classes D et I (également en vert sur le tableau).

7.1.3. La répartition des classes texturales de sols sur les exploitations

A partir des classes de textures obtenues, nous avons établi une esquisse de leur distribution spatiale.

Sur la Fazenda São Nicolau, (Figure 7.7) 6 des 9 classes retenues sont présentes, cependant il faut noter que la classe « argile sablo-limoneuse » n'est représentée que par un point de prélèvement.

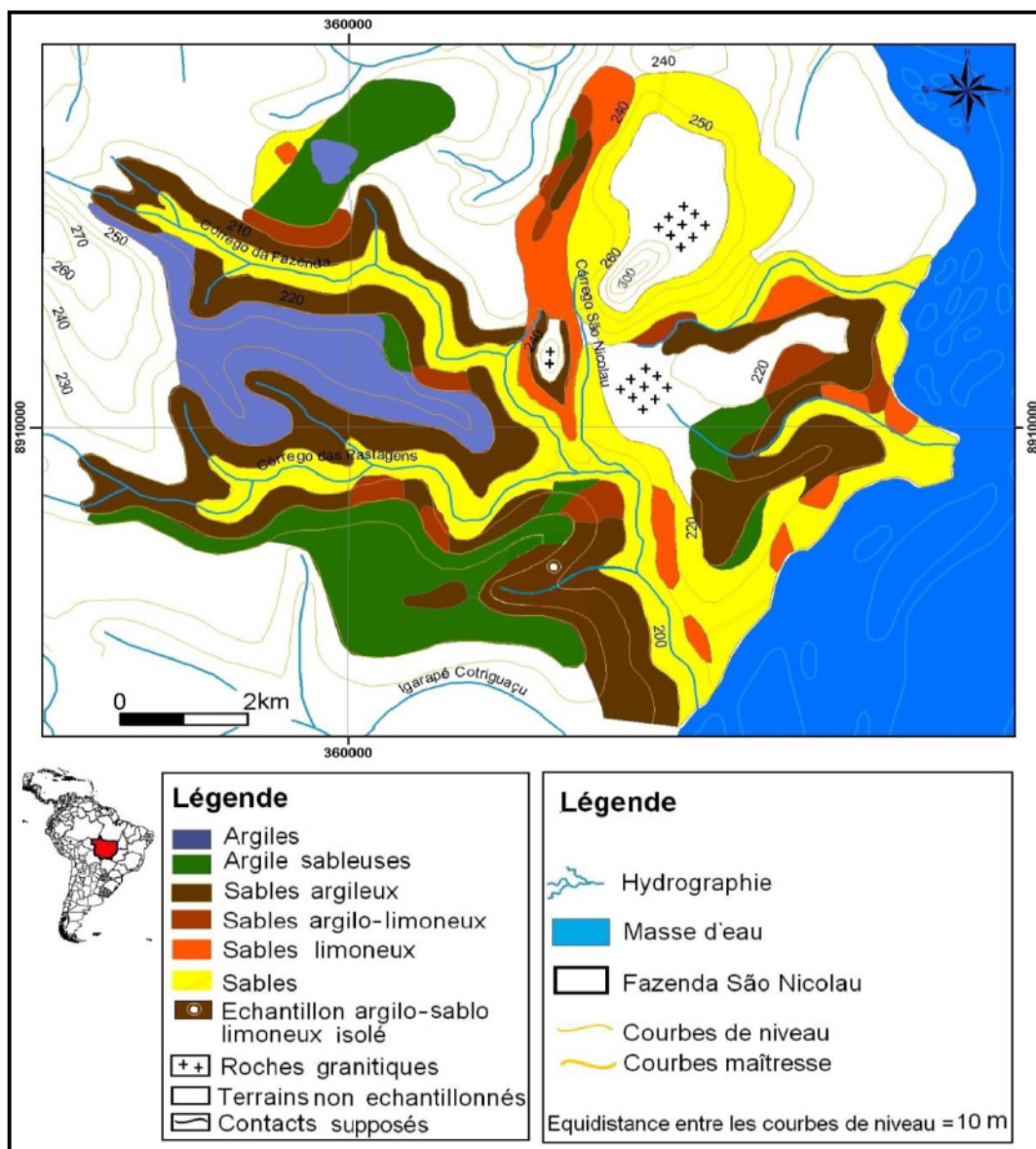


Figure 7.7. Esquisse cartographique des classes texturales de sols sur la Fazenda São Nicolau (L.-A. Nascimento, juin 2014).

Nous n'en avons donc pas tenu compte dans la cartographie mais nous l'avons localisé sur la figure. De façon générale on note que les classes de texture des sols se répartissent selon un gradient argiles / sables depuis les hauteurs de la fazenda jusqu'au Rio Juruena. A l'Ouest de la fazenda, les larges interfluves situés vers 240 m sont occupés par des sols de composition argileuse (entre les Córregos da Fazenda et das Pastagens) ou d'argiles sableuses (au Sud du Córrego das Pastagens).

Sur les versants des córregos incisés entre les interfluves, la texture des sols devient plus riche en sables avec la classe des sables argileux largement représentée. On note en certains points, venant interrompre cette disposition, quelques petites plages d'argiles sableuses ou de sables argilo limoneux. Le bas des versants des vallons et les talwegs sont occupés par des sables.

Au Nord du Córrego da Fazenda, on note une distribution semblable avec une séquence interfluve – fond de vallon constituée d'argiles, argiles sableuses, sables argilo-limoneux, sables argileux et sables.

A l'Est de la Fazenda, entre le Rio Juruena, l'aval du Córrego da Fazenda et l'aval du Córrego São Nicolau, on note une unité plus complexe, largement dominée par des textures à caractère sableux. On note des unités rocheuses (de petites buttes plus ou moins vigoureuses) à partir desquelles s'organisent des plages de texture variées. On peut distinguer trois types de séquences. La première est celle au Nord-est du Córrego São Nicolau où se succèdent du haut du versant vers le bas des affleurements rocheux, puis des sables. La seconde est représentée par l'interfluve entre les Córregos da Fazenda et São Nicolau : à partir d'une butte rocheuse, on note successivement vers le fond des vallons des sables argileux, des sables limoneux puis des sables. Le troisième, entre le Córrego São Nicolau et le Rio Juruena, présente un schéma proche, la différence avec les précédents est la présence d'argiles sableuses à proximité des affleurements rocheux et la plus grande superficie occupée par les sables argileux. Dans les bas-fonds on retrouve des sables jusque sur les bords du Juruena.

La Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 7.8)

Sur la Fazenda Preciosa, caractérisée par un sommet de plateau relativement plat et un grand versant constituant l'amont d'un sous bassin versant du Rio Aripuanã, nous observons 7 classes selon une séquence amont – aval allant des argiles lourdes aux sables argileux :

- sur le plateau, des argiles lourdes,
- sur la bordure du plateau, des argiles sablo-limoneuses,
- sur le sommet du versant, soit des argiles sablo-limoneuses, soit des affleurements granitiques,
- le versant où prennent naissances les cours d'eau sont largement occupés par des sables, puis des sables limoneux,
- à l'aval et dans les fonds de vallons des cours d'eau, des sables argileux auxquels s'associent quelques petites unités isolées d'argiles sableuses.

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer qui s'étend sur un long versant depuis le plateau jusque la plaine alluviale du Rio Juruena et entaillé par de petits cours d'eau, on trouve également une séquence amont aval, mais plus complexe. De façon générale, les sols les plus argileux sont sur les sommets et les interfluves entre les petits cours d'eau à

l'Ouest et au centre de l'Assentamento, tandis que les sols à dominante sableuse deviennent de plus en plus présents lorsqu'on se rapproche du Rio Juruena et des fonds de vallon, dans la partie est. Nous pouvons diviser l'Assentamento en trois unités

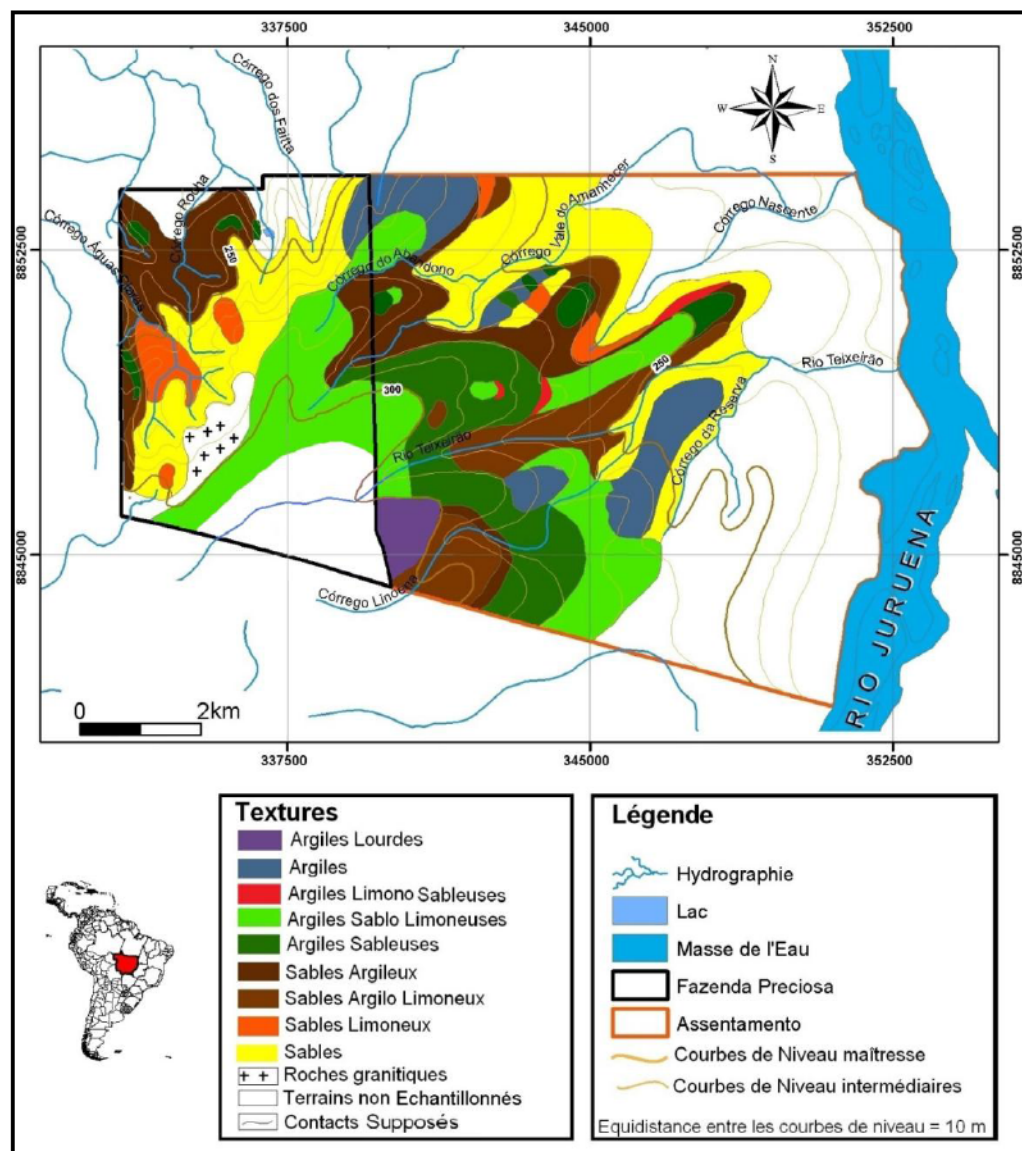


Figure 7.8. Esquisse cartographique des classes texturales de sols sur la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer. (L.-A. Nascimento, juin 2014).

Au centre, sur le bassin versant du Rio Teixeira et la partie en rive droite du bassin du Córrego Vale do Amanhecer, on distingue la partie amont de la partie aval. A l'amont, on passe des argiles lourdes sur la bordure du plateau aux argiles sablo-limoneuses puis sableuses lorsque la pente augmente. Dans la partie aval il faut noter le long interfluve à 250 – 260 mètres d'altitude occupé par des argiles sablo-limoneuses qui laissent place à des textures plus sableuses dès que la pente augmente. De petites unités d'argiles limono-sableuses s'intercalent entre les argiles sablo-limoneuses et les faciès plus sableux. Toujours à l'aval, sur l'interfluve entre le Córrego Vale do Amanhecer et la tête de vallon du Córrego Nascente subsistent des argiles sableuses entourées de sables argileux qui passent à des textures plus sableuses lorsque la pente s'accroît pour rejoindre la plaine sableuse en bordure du Juruena. Dans cette partie aval, on note que les versants du Rio Teixeira sont occupés par des formations sablo-argilo-limoneuses, passant à l'aval à des

formations sableuses tandis que le versant de rive droite du Córrego Vale do Amanhecer est couvert par une marqueterie de sols argileux à sableux.

Au Nord du Córrego Vale do Amanhecer et dans le bassin du Córrego do Abandono, la distribution bien que complexe se fait de façon générale avec des sols plus argileux sur les parties supérieures des versants et plus sableux vers la base. Au Sud de l'Assentamento, dans le bassin versant du Córrego Linoena, les versants amont sont recouverts de formations sablo-argileuses et sablo-argilo-limoneuses et on observe des affleurements rocheux dans sa partie amont, à la limite du plateau ; vers l'aval, les interfluves sont occupés par des formations à texture argileuses, argilo-sableuses et sablo-argileuses. De façon générale toute la plaine alluviale est occupée par des formations sableuses qui se raccordent à celles des fonds de vallons des cours d'eau incisant le versant de l'Assentamento.

La répartition des différentes textures est liée à des évolutions géomorphologiques anciennes qui ont permis un décapage des sols en relation notamment avec l'encaissement de ces deux cours d'eau et à la proximité du rio Juruena. Les sols plus ou moins sableux des versants correspondent aux secteurs décapés. Dans les fonds de vallée, les sables sont surtout liés à des accumulations par les eaux courantes.

En première approche, on peut donc constater que la composition texturale de ces exploitations présente un grand nombre de points communs et que les sables y sont abondants. Cependant nous constatons une plus grande diversité de textures de sols sur l'Assentamento Vale do Amanhecer par rapport aux Fazendas Preciosa et São Nicolau, avec notamment la présence de sols plus argileux. On peut également noter une répartition des textures différentes entre d'une part la Fazenda Preciosa et d'autre part les deux autres exploitations caractérisées par l'abondance des formations sableuses aux basses altitudes.

7.2. Les caractères chimiques des sols

7.2.1. Des sols acides (ou à faible fertilité)

L'ensemble des mesures effectuées sur les échantillons extraits des sols des trois exploitations sont dans les Annexes A1 et A2. Une première approche analytique par ferme a été effectuée en retenant les valeurs minimales, maximales et les moyennes des différents paramètres (Tableau 7.4).

Les pH sont toujours très bas avec des valeurs minimales autour de 3. La valeur de 1,18 sur la Ferme de Preciosa est tout à fait exceptionnelle, la valeur la plus basse suivante étant de 3,77. Sur les Fazendas de São Nicolau et Preciosa les valeurs maximales sont de l'ordre de 5,0 la valeur de 6,08 sur l'Assentamento est aussi une valeur très exceptionnelle. Les moyennes sur l'ensemble des échantillons varient entre 4,1 et 4,4.

Les bases échangeables mesurées sont Ca et Mg d'une part et Al et la somme de H et Al d'autre part, les premières faisant partie des composants de fertilité du sol, les seconds étant reliés au caractère acide du sol. Nous notons qu'il est difficile de distinguer d'une ferme à l'autre de véritables différences, en effet, les valeurs d'Al échangeable et de H+Al sont faibles et extrêmement dispersées.

La somme en bases (S), montre de ce fait les mêmes variations et les moyennes sont très semblables d'une exploitation à l'autre (2,08 à 2,81). La capacité d'échange, (t et CEC) indique des sols à faible capacité de fixation des bases échangeables.

Tableau 7.4. Les paramètres chimiques des sols des trois exploitations

		Fazenda São Nicolau			Assentamento Vale do Amanhecer			Fazenda Preciosa		
		Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
pH		3,20	5,02	4,10	2,98	6,08	4,42	1,18	5,01	4,12
Al échangeable	Cmol/dm ³	0,04	1,21	0,31	0,02	2,48	0,75	0,10	1,05	0,38
H + Al échangeable		0,56	6,09	2,51	0,12	5,73	2,67	0,40	3,69	1,84
Ca + Mg		0,05	7,20	2,07	0,30	7,70	2,35	0,40	9,00	2,81
Somme des bases (S)		0,05	7,21	2,08	0,30	8,70	2,36	0,90	9,00	2,81
CEC effective (t)		0,40	7,56	2,38	0,95	8,80	3,10	1,19	9,20	3,19
CEC (pH 7)		1,08	7,31	4,58	2,06	11,96	5,03	2,05	10,80	4,65
Saturation en bases (V)	%	1,88	73,76	43,32	7,73	92,11	46,83	23,16	87,34	58,88
Saturation en Al échangeable		2,38	87,18	15,80	0,53	87,06	28,09	2,17	52,85	14,15

Le taux de saturation en bases échangeables (V) montre une valeur moyenne de 40 à 50 %, les valeurs sont très dispersées et si certains sols peuvent présenter un taux de saturation satisfaisant (de l'ordre de 75 à 90 %), celui-ci s'applique à des sols ayant une faible CEC. La saturation en Al échangeable montre une même dispersion des valeurs mais une grande homogénéité d'une ferme à l'autre. L'ensemble de ces sols indique une fertilité médiocre en relation avec le type matériel parental.

7.2.2. La Matière organique et le Carbone dans les sols étudiés

Si l'on considère les teneurs en Matière Organique (MO) par ferme, on constate une grande homogénéité (Tableau 7.5) de l'une à l'autre avec des valeurs moyennes très satisfaisantes par rapport aux normes établies (Tableau 7.6) selon Tome Júnior (1997). On peut noter des moyennes légèrement supérieures sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.

Tableau 7.5. Les valeurs de M.O. et de carbone par exploitation

	M.O. (%)			Carbone (g kg ⁻¹)		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
Fazenda São Nicolau	1,20	15,73	5,70	0,24	16,06	6,92
Assentamento Vale do Amanhecer	1,20	14,12	7,03	1,09	25,16	11,51
Fazenda Preciosa	2,87	11,32	5,94	1,19	16,46	8,59

Tableau 7.6. Les classes de valeurs de M.O. et de carbone (Tomé Júnior, 1997)

	Matière organique (%)	Carbone (g kg ⁻¹)
Bas	≤2,5	<9
Moyen	2,6 à 5,6	9-14
Haut	>5,6	> 14

L'examen des valeurs de Carbone montrent des valeurs maximales très semblables pour les Fazendas São Nicolau et Preciosa et des valeurs plus élevées pour l'Assentamento Vale do Amanhecer, les plaçant à un niveau satisfaisant. Cependant les moyennes confirment l'existence de ces deux catégories mais elles indiquent que globalement les deux Fazendas possèdent des valeurs < 9 (donc, classe basse) alors que l'Assentamento se trouve dans la classe moyenne. Si l'on considère les teneurs de MO et de Carbone par classe texturale, nous pouvons voir des différences.

La Matière Organique

Les valeurs minimales peuvent être faibles (1,20 dans les sables argileux et les sables) mais les valeurs maximales montrent des teneurs en MO élevées et toujours supérieures à 10 % (Tableau 7.7). Les teneurs moyennes appartiennent à la classe moyenne de Tome Junior (1997) dans les sables, les sables limoneux et les sables argilo-limoneux. Toutes les autres classes appartiennent à la classe haute de la classification de Tomé Júnior (1997).

Le Carbone

Les valeurs de Carbone indiquent des différences d'une classe à l'autre. Les valeurs minimales pour la majorité des classes sont faibles, à l'exception des argiles limono-sableuses et surtout des argiles lourdes ($19,44 \text{ g kg}^{-1}$). Les valeurs maximales sont toutes élevées ($> 18 \text{ g kg}^{-1}$) mais elles masquent des disparités importantes comme peuvent en témoigner les valeurs moyennes. Les sols à dominante sableuse (classes des sables argileux, sables limoneux, sables et sables argilo-limoneux) ont des valeurs faibles inférieures à 9. Les classes texturales plus riches en argiles possèdent des valeurs moyennes à élevées : les argiles sableuses, les argiles et les argiles sablo-limoneuses ont des valeurs moyennes comprises entre 9 et 14 et deux classes possèdent des valeurs supérieures à 14 (les argiles-limono-sableuses et les argiles lourdes) (Tableau 7.7). Il semblerait donc qu'il y ait une relation entre la composition texturale et la teneur en carbone. Mais la dispersion des données dans chaque classe indique des relations complexes.

Tableau 7.7. Valeurs de M.O. et de carbone par classe texturale.

Classes de Textures	Textures	MO (%)			Carbone (g kg^{-1})		
		Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
A	Sables argileux	1,20	11,32	6,19	0,01	18,06	8,17
B	Sables limoneux	2,85	9,47	4,67	1,19	19,55	7,20
C	Sables	1,20	11,47	3,94	0,10	25,16	7,31
D	Argiles sableuses	5,25	11,15	7,92	0,35	22,20	9,97
E	Argiles	2,21	15,73	9,45	0,24	19,01	11,76
F	Argiles limono-sableuses	5,12	11,50	7,62	9,55	24,19	15,89
G	Sables argilo-limoneux	3,45	12,89	3,45	1,09	18,84	8,02
H	Argiles lourdes	6,04	14,12	11,15	19,56	23,29	22,00
I	Argiles sablo-limoneuses	4,21	12,60	6,76	4,84	19,44	11,22

La relation Carbone / Matière organique

La relation entre la moyenne des valeurs de Carbone et celle des valeurs de Matière Organique dans chaque classe de texture (Figure 7.9) est difficile à mettre en évidence. Dans les sols à dominante sableuse des classes A (sables argileux), B (sables limoneux) et C (sables), la teneur en matière organique diminue de la classe A à la classe C tandis que le Carbone est à peu près constant. Dans les classes D (argiles sableuses) et E (argiles) les valeurs de M.O. et de Carbone augmentent tandis que dans la classe F (argiles limono-sableuses) la M.O. diminue et le Carbone augmente.

Dans les classes G (sables argilo-limoneux), H (argiles lourdes) et I (argiles sablo-limoneuses) on note un rapport constant avec une augmentation ou une diminution du carbone lorsque la M.O. augmente ou diminue. Il est à noter que c'est dans la classe des argiles lourdes (H) que les valeurs moyennes de M.O. et de Carbone sont les plus élevées.

Ce graphique met en évidence que c'est dans deux classes (F et H) qu'il y a le plus de Carbone mais que la relation avec la quantité de M.O. n'est pas directe. Par ailleurs si ces deux classes ont une composante argileuse importante, la classe F n'est pas celle qui dans la classification a le taux d'argile le plus élevé.

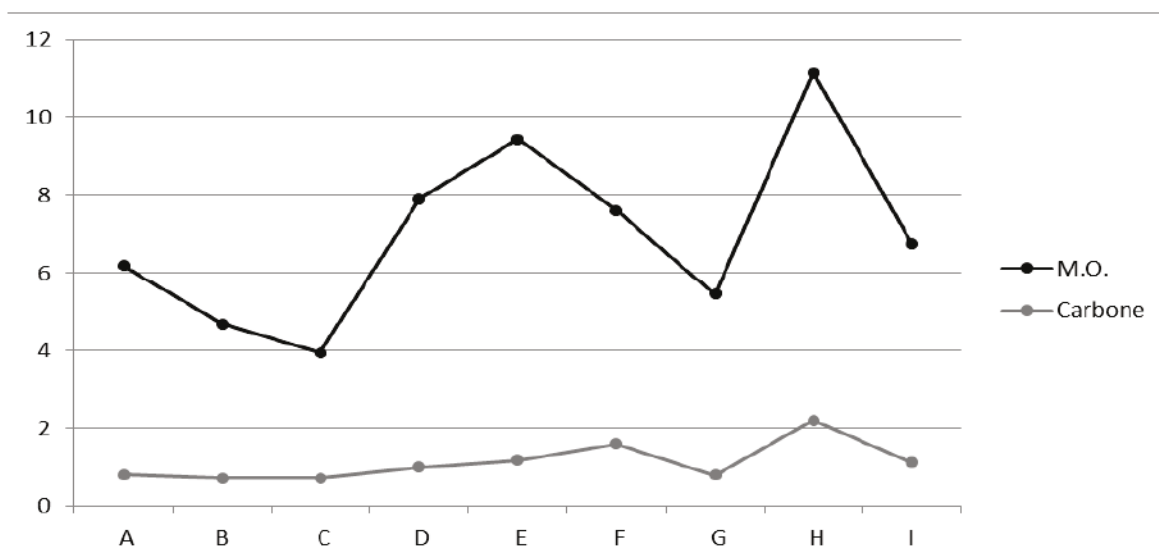


Figure 7.9. Relation entre la matière organique, le carbone et les classes de texture des sols
(L.-A. Nascimento, juin 2014).

7.3. Les relations entre les paramètres physico-chimiques du sol

Une Analyse en Composantes Principales a été faite sur l'ensemble des données physico-chimiques des sols. Dans cette analyse, les relations entre les différents paramètres ont été regroupées en fonction de leur variance en quatre composantes principales. Ces quatre composantes expliquent à elles seules plus de 82 % de la variance totale des données (Tableau 7.8). La première composante explique 35,09 % de la variance totale, et peut être considérée comme le détenteur des relations les plus importantes dans le complexe du sol avec la seconde composante qui représente 25,48 % de la variance totale. La troisième et la quatrième ne détiennent plus que 13,27 % e 9,10 % de la variance totale.

Tableau 7.8. Les valeurs de variance de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques

Composantes Principales	Variance (λ_i)	Variance (%)	Variance cumulée (%)
1	3,5098	35,09	35,09
2	2,5485	25,48	60,57
3	1,3276	13,27	73,84
4	0,9107	9,10	82,94

Sur le cercle des corrélations entre les 2 premières composantes (Figure 7.10), exprimant les relations les plus significatives entre des groupes de données comme la Saturation en Base, pH et l'argile, le Ca+Mg et la CEC, les sables et la saturation en Al et le Carbone.

Le premier axe peut être considéré comme le détenteur des relations les plus importantes dans le complexe du sol. Les variables les plus influentes se regroupant autour de l'argile sont le pH et la Saturation en bases d'une part, et la saturation en Aluminium avec les sables d'autre part. La CEC et les bases échangeables situées dans le cadran 1 marquent une relation positive avec les argiles, mais cette relation est influencée par l'axe 2. De même, la M.O. et Al échangeable indiquent une relation avec les sables mais elle est également influencée par l'axe 2. Il est à noter que H+Al ne représente qu'un très faible taux d'explication. Le second axe oppose le limon au Carbone auquel sont liés la CEC, le

Ca+Mg d'une part et la M.O. et l'Al échangeable. Le limon est ici une fraction granulométrique indépendante de toutes les autres variables.

Le premier cadran nous indique des relations dominées par les particules fines susceptibles de fixer les composants chimiques et le second cadran nous montre que les paramètres chimiques de l'acidité des sols sont fortement liés aux quantités de sables des sols analysés. Le carbone sur l'axe 2, à la limite des deux cadrans indique un comportement lié aux paramètres comme la CEC ou la matière organique mais que l'influence des argiles et des sables est mal identifiée.

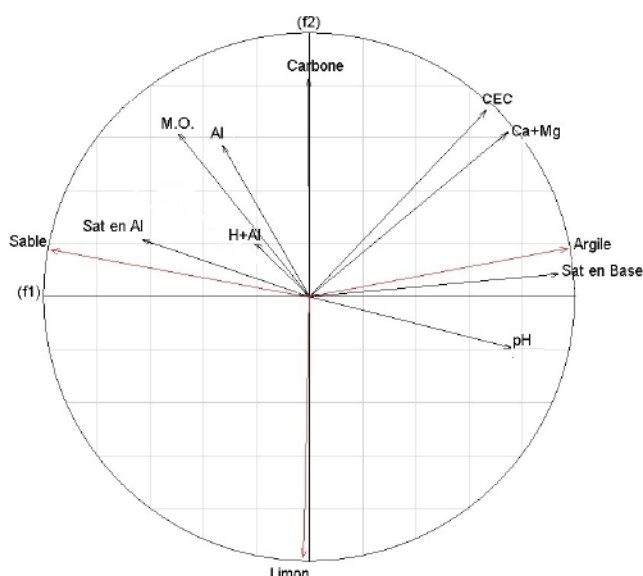


Figure 7.10. Cercle de corrélation entre les données physico-chimiques des sols. Plan 1-2.

Le cercle des corrélations entre les composantes 3 et 4 (Figure 7.11), expriment les relations significatives entre les mêmes groupes de données.

Sur l'axe 3, on retrouve l'opposition sables / argiles et les paramètres associés mais si le pH et les argiles montrent une bonne relation, on note que la saturation en bases est décalée. Sur l'axe 4, le limon et le carbone sont fortement corrélés et ces deux paramètres associés aux sables influencent la MO.

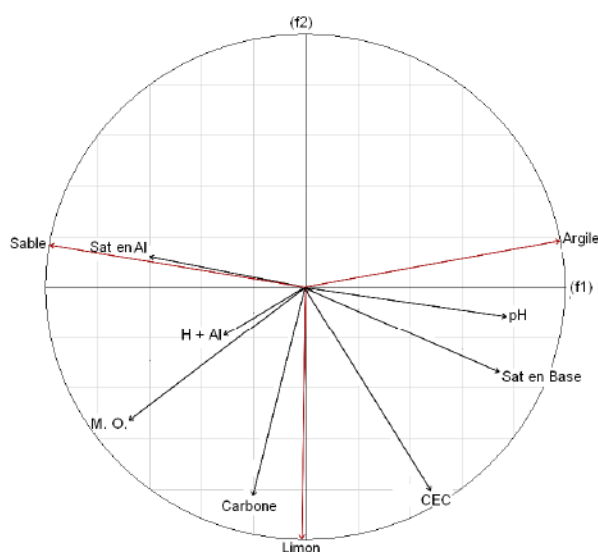


Figure 7.11. Cercle de corrélation entre les données physico-chimiques des sols. Plan 3-4.

7.4. La composition géochimique et minéralogique de la fraction argileuse

7.4.1. La composition géochimique

Les éléments majeurs trouvés sous forme d'oxydes sont : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 auxquels s'ajoute l'eau constitutive. Les éléments traces exprimés en oxydes eux aussi sont SO_3 , ZrO_2 , TmO_2 , Rb_2O , SrO , Y_2O_3 , V_2O_5 , ZnO , SnO_2 , I , NbO , Cr_2O_3 , Ag_2O et CuO . L'ensemble des résultats est donné dans l'Annexes A3 et A4. Parmi ces résultats nous n'avons retenu que les oxydes en quantité notable pour l'analyse parce que notre objectif n'est pas l'étude de l'altération des sols mais les tendances principales des caractères géochimiques du sol. Parmi eux, dans un premier temps, nous avons gardé H_2O , Fe_2O_3 et K_2O , les valeurs de Ki ou rapport moléculaire entre SiO_2 , Al_2O_3 .

Sur l'ensemble des trois fermes, les valeurs obtenues montrent une grande homogénéité (Tableau 7.9). Les teneurs en eau constitutive comprises entre 4 et 18 % environ, sont relativement importantes. La moyenne est de 12 à 14 %.

Le SiO_2 est le plus abondant de tous les oxydes avec des pourcentages très proches sur l'ensemble des fermes, seule la valeur minimale de la Fazenda Preciosa se distingue avec une valeur de 31 % alors que sur São Nicolau et l'Assentamento elles varient entre 24-25 %. Les valeurs maximales et les moyennes sont proches sur les trois fermes, respectivement 72 – 73 % et 49 – 52 % et 72 – 73 %.

Les teneurs maximales de Al_2O_3 sur les trois fermes sont très semblables (38 à 39 %), les valeurs minimales varient entre 14 et 18 %, la valeur la plus faible se trouve sur l'Assentamento Vale do Amanhecer. Les moyennes sont de l'ordre de 28 à 29 %.

Le rapport moléculaire entre Al_2O_3 et SiO_2 ou Ki exprime le degré d'altération des matériaux. Sur les trois fermes, ils présentent des valeurs très dispersées allant de 1,47 / 1,60 à des valeurs de 6,43 / 7,33 mais les moyennes ne varient qu'entre 2,99 et 3,33. Le rapport moléculaire est identique pour les valeurs minimales (environ 1,50) mais la valeur maximale est plus élevée sur la Fazenda Preciosa (7,33 contre environ 6,5 sur les deux autres exploitations). La valeur moyenne sur la Fazenda São Nicolau n'est 2,99 alors qu'elle se situe aux environs de 3,3 sur les deux autres exploitations. Ces moyennes plus proches des valeurs inférieures que supérieures indiquent que la tendance générale des sols est d'être fortement évolué sur le plan géochimique. Avec ces données, il est difficile de voir une différence entre les sols des exploitations. Le Fe_2O_3 a des valeurs très dispersées sur les Fazenda São Nicolau et l'Assentamento avec des minimales de des maximales respectivement de 0,8 et 16 % environ alors que sur la Fazenda Preciosa les valeurs sont plus resserrées (6 à 12 %). Les moyennes très semblables sur les deux premières (4,4 %) montent à 5,91 % sur la troisième.

La composition géochimique par classe (Tableau 7.10) permet de préciser l'état des matériaux. Si les valeurs extrêmes sont généralement dispersées, les moyennes permettent de mieux caractériser chacune des classes.

Une analyse du tableau permet d'utiliser le Ki comme indicateur de groupes de classes. Ainsi, on peut distinguer 4 groupes, par ordre croissant de valeur de Ki.

Le premier groupe, avec un Ki de 1,77 et 1,88, comporte les classes E et H (argiles et argiles lourdes). Il se distingue par leurs faibles teneurs en SiO_2 (34 et 40 %) et des valeurs élevées d' Al_2O_3 (30 à 34 %). C'est le fer qui les distingue. Le second groupe est constitué par les classes D et F (argiles sableuses et argiles limono-sableuses). Le Ki moyen est

respectivement de 2,23 et 2,24. Il se distingue du groupe précédent par une teneur plus élevée en SiO_2 (44 et 48 %) mais des valeurs très proches en Al_2O_3 . Le troisième groupe comprend les classes A et G (sables argileux et sables argilo-limoneux). Le Ki est de 2,78 et 3,16 avec des teneurs en SiO_2 autour de 50 %. Le quatrième groupe contient les classes BCI (sables limoneux, sables, argiles sablo-limoneuses) avec une valeur moyenne de Ki de 3,68, 3,72 et 3,94. Les valeurs de SiO_2 sont supérieures à 50 % et les valeurs d' Al_2O_3 inférieures entre 23 et 26 %. On note une suite logique d'altération des classes les plus argileuses aux classes sableuses.

Tableau 7.9. La composition géochimique des échantillons de sol par exploitation(les oxydes sont exprimés en %, le Ki en valeur absolue)

	H₂O			SiO₂			Al₂O₃			Ki			Fe₂O₃		
	Min	Max	My	Min	Max	My	Min	Max	My	Min	Max	My	Min	Max	My
Fazenda São Nicolau	4,99	18,93	14,62	24,76	72,30	49,02	18,07	38,36	29,45	1,60	6,46	2,99	0,88	15,50	4,44
Assentamento Vale do Amanhecer	5,49	19,06	12,31	25,08	72,86	52,02	13,95	39,94	28,37	1,51	6,62	3,34	0,75	16,36	4,34
Fazenda Preciosa	4,64	19,63	12,06	31,59	73,48	50,48	17,05	38,54	28,34	1,47	7,33	3,28	6,33	12,10	5,91

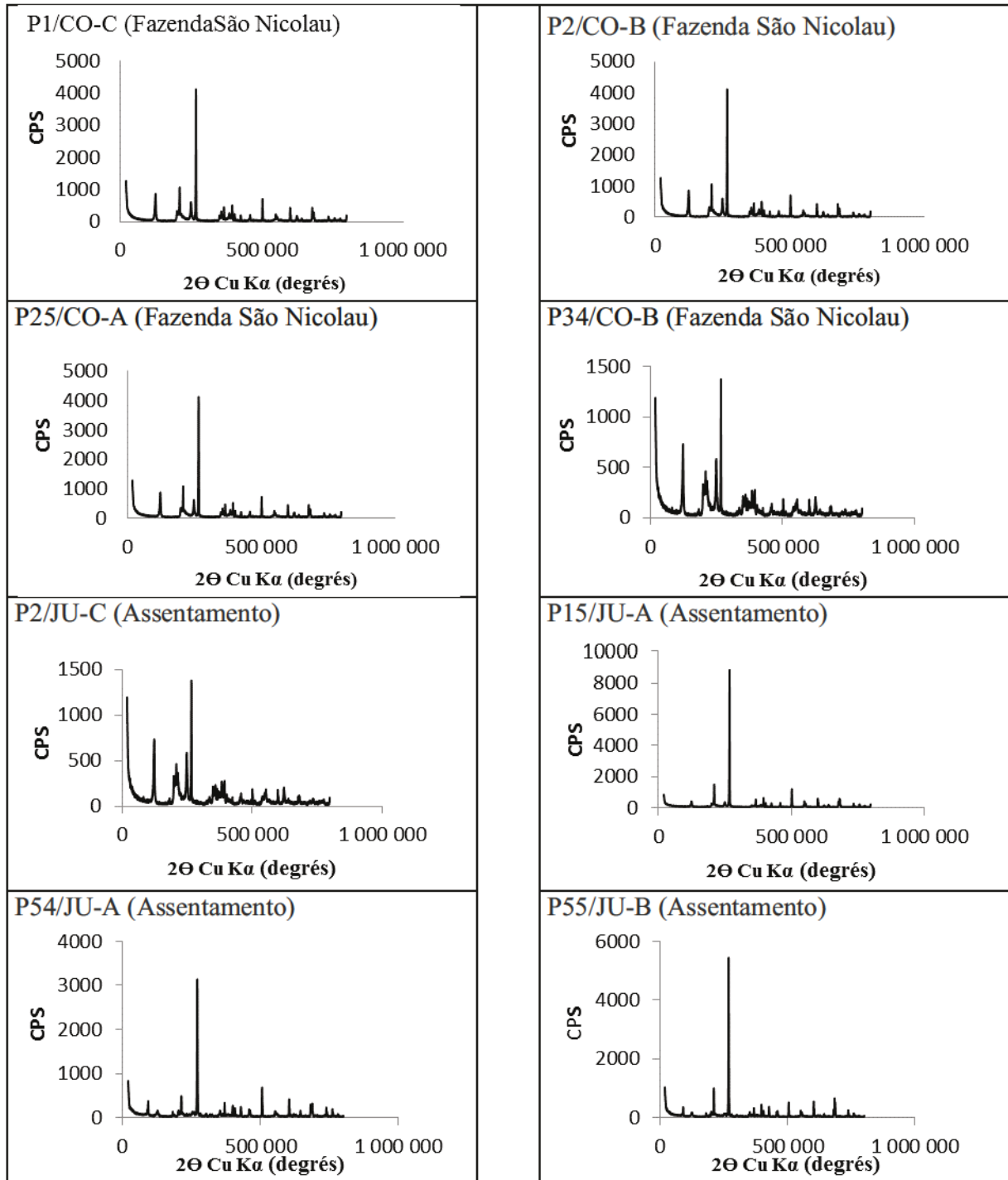
Tableau 7.10. La composition géochimique par classe texturale

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
SiO ₂	Min	25,08	18,68	31,92	26,05	24,77	37,99	38,78	33,73	40,70
	Max	65,44	73,48	72,86	64,3	62,22	57,17	68,51	34,78	56,88
	My	48,95	58,45	57,92	44,01	40,18	48,46	52,80	34,12	51,10
Al ₂ O ₃	Min	13,95	14,86	18,08	24,02	24,39	25,62	21,75	29,36	21,07
	Max	36,41	29,91	38,29	37,01	39,94	33,46	38,54	31,84	36,72
	My	29,42	23,98	25,77	32,02	34,67	29,94	28,53	30,85	26,61
Ki	Min	2,27	3,60	3,55	1,92	1,54	2,24	2,61	1,88	1,86
	Max	3,49	3,82	4,16	2,58	1,89	2,24	3,96	1,88	5,69
	My	2,78	3,68	3,94	2,23	1,77	2,24	3,16	1,88	3,72
Fe ₂ O ₃	Min	0,75	1,01	0,76	1,00	1,52	3,23	1,34	14,69	0,82
	Max	11,48	5,49	15,51	12,10	11,20	7,94	11,62	16,36	4,46
	My	5,00	2,93	3,41	5,96	5,67	5,57	4,11	15,54	3,63

7.4.2. La composition minéralogique de la fraction argileuse

Les analyses minéralogiques par la diffraction des Rayons X de la fraction argile (Planche 7.1) ont montré la kaolinite comme le minéral argileux dominant (pic de 7,2Å) accompagné par la sméctite (14Å), l'illite, et les inter-stratifiés l'illite / sméctite et la vermiculite.

Planche 7.1. Diffractogrammes des huit échantillons qui représentent les 78 échantillons analysés par la diffraction des rayons X.



Le quartz et le feldspath (pic à 4,56Å) sont présents sur les diffractogrammes. Les diffractogrammes mettent en évidence des oxydes d'aluminium comme la gibbsite, ou de fer comme l'hématite et la goethite, ainsi que des oxy-hydroxydes de Fe. Nous notons également l'existence d'ilménite (oxyde de Ti et de Fe) et d'anatase (oxyde de Ti). La kaolinite et la gibbsite sont à des degrés divers le résultat du produit d'une altération avancée des feldspaths et autres minéraux alumino-silicatés des roches de composition granitique présentes régionalement. Les résultats montrés dans la Planche 7.1, on étés choisis en fonction des teneurs d'argile (Cf. Tableau 10.12 dans l'Annexe A5).

7.5. Les relations entre caractères chimiques et géochimiques du sol

Dix variables ont été retenues : quatre variables géochimiques (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ki) et six variables physico-chimiques du sol (MO, pH, CEC, S, Ca+Mg, H+Al). L'ACP indique sur les quatre premières composantes 86,3 % de variance cumulée (Tableau 7.11). Les deux premiers axes représentent à eux seuls 57,31 %.

Tableau 7.11. Les valeurs de variance cumulée de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques

Composantes Principales	Variance (λ_i)	Variance (%)	Variance cumulée (%)
1	3,6125	36,12	36,12
2	2,1183	21,18	57,31
3	1,4795	14,79	72,10
4	0,8475	8,47	86,30

Sur la première composante factorielle (axe 1), les variables les plus contributives sont les oxydes avec le SiO_2 , l' Al_2O_3 , le Fe_2O_3 d'une part, le Ki et enfin la MO (Figure 7.12). Le Ki et le SiO_2 sont corrélés positivement et négativement à Al_2O_3 . Le Fe_2O_3 et la matière organique sont fortement corrélés et influencé par l'axe 2.

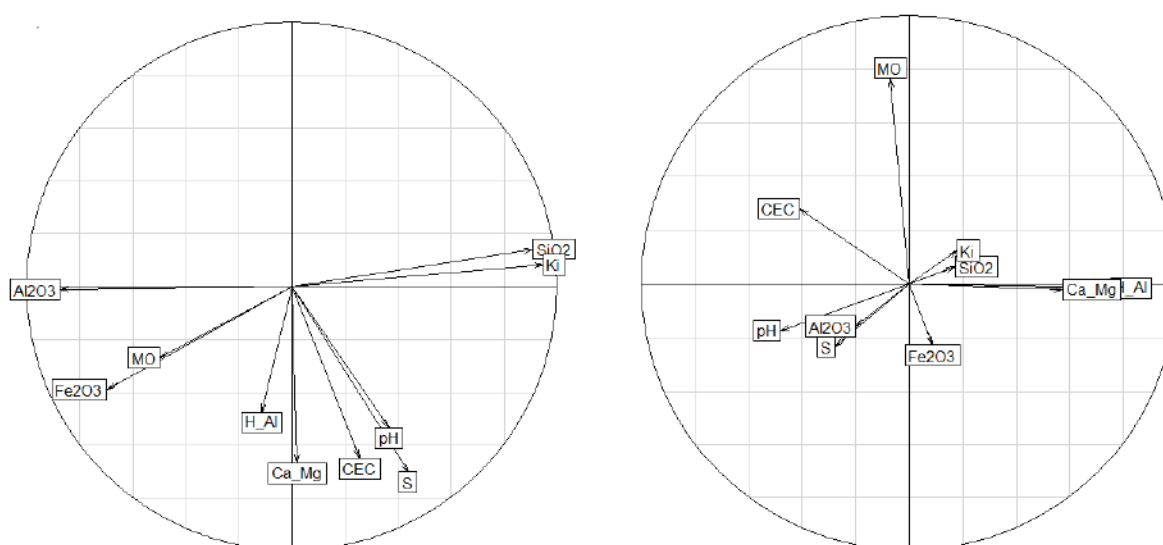


Figure 7.12. Cercle de corrélation (plan 1–2 et 3–4) de l'ACP sur les composantes chimiques et géochimiques du sol.

La seconde composante factorielle (axe 2) met en valeur le rôle des paramètres chimiques du sol avec les corrélations entre un groupe de variables contributives que sont Mg, la CEC, S et le pH, H⁺, Al restant secondaire. Il est à noter la proximité de MO et Fe₂O₃, deux variables influencées par les deux axes. La troisième composante factorielle principale (axe 3) est structurée par le Ca+Mg et le H+Al, en faisant opposition au pH, Al₂O₃ et S. La quatrième composante factorielle (axe 4) est structurée par la matière organique. Les autres variables n'ont qu'un poids négligeable.

Cette analyse permet donc d'identifier les variables chimiques et géochimiques qui sont les plus discriminantes avec notamment les deux oxydes les plus représentés dans les sols et les paramètres liés aux échanges cationiques, le Fe₂O₃ et la MO jouant un rôle intermédiaire. Cependant, cette dernière n'intervient de façon importante que dans la quatrième composante et décorrélée des autres variables.

Conclusion du chapitre 7

Les analyses physico-chimiques, géochimiques et minéralogiques indiquent une gamme de sols largement différenciés par le paramètre textural, allant des sables aux argiles sachant que les sols à tendance sableuses sont les plus représentés. Toutefois, nous constatons que l'Assentamento Vale do Amanhecer possède les sols les plus argileux. La distribution des textures sur les différentes fermes indique dans la majorité des cas des gradients selon des séquences topographiques. Une différence est notée entre la Fazenda São Nicolau et l'Assentamento Vale do Amanhecer d'une part et la Fazenda Preciosa d'autre part. Les deux premières s'étendent sur un ensemble de versants dominant directement le Rio Juruena et présentent un gradient avec les sols les plus argileux sur les sommets et les plus sableux vers les fonds de vallée.

Sur la Fazenda Preciosa, les sols sableux se trouvent sur la rupture de pente entre le plateau et le versant.

Développés sur un substratum à composition granitique, ces sols se caractérisent dans leur ensemble par leur faible fertilité avec des pH faibles, une capacité d'échange peu élevée, des bases échangeables peu abondantes et des taux de saturation globalement inférieurs à 50 %. Cette analyse est confirmée par l'étude géochimique qui montre des sols appartenant à un ensemble fortement altéré. Une analyse des corrélations indique le rôle majeur des oxydes dans le sol.

De façon générale la MO et le carbone présentent des valeurs très diversifiées mais ils semblent être corrélés avec la présence d'argile dans les sols. Cette corrélation sera décrite dans le chapitre 8.

Chapitre 8

Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol

Chapitre 8. Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol

Introduction du chapitre 8

Le carbone s'est révélé être une variable dont la corrélation avec les propriétés texturales du sol est bien exprimée alors qu'elle l'est nettement moins avec les propriétés chimiques du sol (cf. chapitre 7, § 7.3). Dans ce chapitre, il s'agit d'étudier le stockage du carbone dans les sols et ses relations avec les paramètres physico-chimiques. Nous avons procédé en plusieurs étapes. Après une analyse des valeurs de stock de carbone et de leur comportement dans chaque unité d'exploitation agricole et en fonction des classes texturales des sols, nous avons effectué une classification qui tient compte à la fois des teneurs en carbone et des stocks de carbone. Nous pouvons ainsi définir des « classes de stockage de carbone ».

Notre objectif a été ensuite de cerner pour chacune de ces classes les relations avec un certain nombre de variables et d'identifier celles jouant un rôle essentiel dans les capacités de stockage du carbone. Enfin, nous avons tenté de spatialiser les classes de stockage de carbone afin de mieux caractériser leur distribution et les confronter à la carte des textures.

8.1. Le stock de carbone

8.1.1. Les stocks de carbone enregistrés

Les calculs effectués sur l'ensemble des résultats de carbone des échantillons (Tableau 8.1) montrent des valeurs extrêmement diverses, allant de 0 à presque 9 kg/m², avec une moyenne de 3,12, indiquant en première analyse une situation relativement médiocre du stock du carbone. L'examen des valeurs minimales, maximales et moyennes de chaque exploitation montre une grande similitude entre les fazendas São Nicolau et Preciosa. L'Assentamento Vale do Amanhecer se démarque par des valeurs maximales nettement supérieures (8,89 kg/m²), mais la moyenne reste relativement faible. Les moyennes et les valeurs médianes sont très proches sur les trois exploitations, cependant les fermes São Nicolau et Preciosa ont de façon générale des valeurs de stock plus faibles que l'assentamento.

Tableau 8.1. Valeurs extrêmes et moyennes de stock de carbone exprimées en kg/m²

	Ensemble	Fazenda São Nicolau	Fazenda Preciosa	Assentamento Vale do Amanhecer
Minimum	0	0,04	0,00	0,37
Maximum	8,89	5,36	5,34	8,89
Moyenne	3,12	2,45	2,75	3,85
Médiane	3,08	2,62	2,67	3,73

Si l'on examine l'ensemble des valeurs de stock de carbone sur les trois exploitations (Figure 8.1), on note une grande dispersion et la distinction enregistrée ci-dessus se confirme.

Sur les Fazendas São Nicolau et Preciosa, une très grande majorité des échantillons mesurés ont des valeurs inférieures à 4 kg/m², soit des valeurs faibles si l'on se réfère au classement de l'IFEN pour la zone tempérée (IFEN, 2007), un tel classement n'existant pas à notre connaissance pour la zone tropicale. Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, 44 %

des échantillons ont une valeur supérieure à 4 kg/m², ce qui le classe dans une meilleure situation.

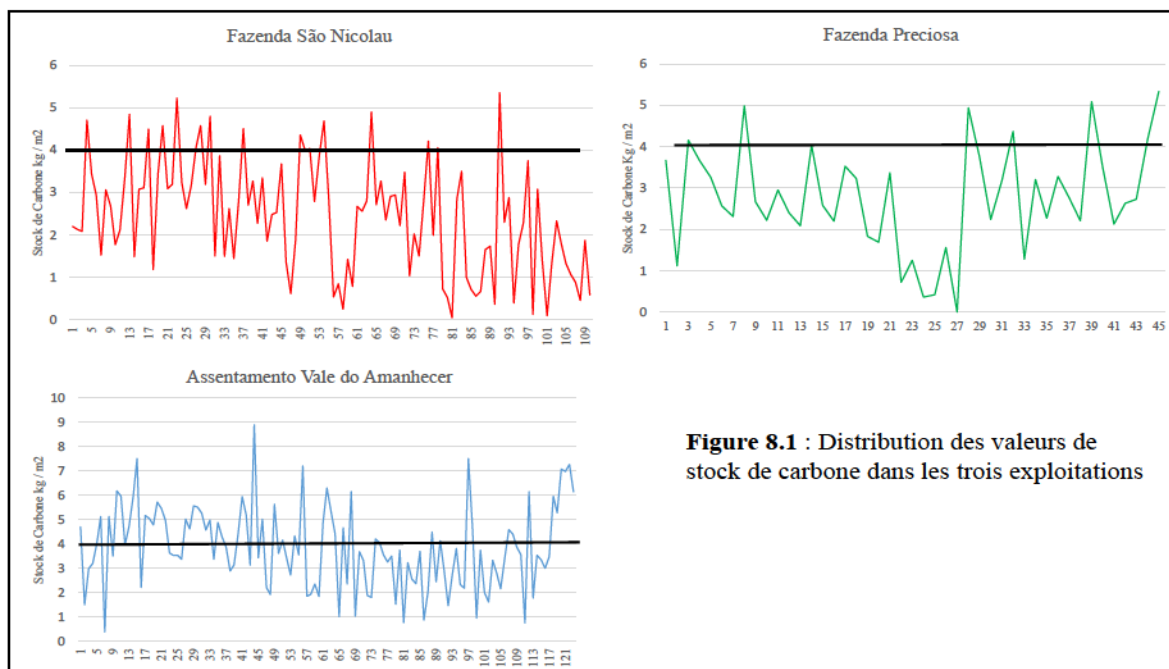


Figure 8.1 : Distribution des valeurs de stock de carbone dans les trois exploitations

Tableau 8.2 : Les valeurs de stock de carbone par classe texturale

		Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane
A	Sables argileux	0	6,29	2,77	2,78
B	Sables limoneux	0,36	6,14	2,47	2,63
C	Sables	0,04	8,89	2,74	2,88
D	Argiles sableuses	0,12	7,2	3,4	3,4
E	Argiles	0,09	5,94	3,8	4,15
F	Argiles limono-sableuses	3,51	7,5	5,36	5,04
G	Sables argilo-limoneux	0,36	6,15	2,58	2,53
H	Argiles lourdes	6,13	7,26	6,79	6,97
I	Argiles sablo-limoneuses	1,45	5,95	3,66	3,54

Si l'on considère la moyenne des valeurs de stock de carbone par classe de texture (Tableau 8.2), on peut noter une relation nette entre trois groupes : les classes sableuses dont le stock moyen de carbone est compris entre 2,47 et 2,77 kg/m², les classes d'argiles sableuses, argiles sablo-limoneuses et argiles avec un stock moyen compris entre 3,4 et 3,8 et enfin le groupe des argiles limono-sableuses et des argiles lourdes avec respectivement 5,36 et 6,79 de stock moyen. Le résultat semble globalement cohérent, mais si l'on examine les valeurs minimales et maximales, on se rend compte de la dispersion des valeurs dans une même classe. Cela indique vraisemblablement l'intervention d'autres variables dans l'explication des teneurs en carbone du sol.

8.1.2. Les classes de stockage de carbone dans les sols

Une ACP normée a été réalisée sur les valeurs du carbone et du stock de carbone pour l'ensemble des points échantillonnés, pour ensuite mettre en place une Classification

Ascendante Hiérarchique (CAH - méthode de *Wards*) sur les coordonnées factorielles de l'ordination des points. Ceci a permis de constituer une typologie des points en 10 classes (Tableau 8.3), l'indice de *Huntsberger* ayant été utilisé afin de statuer sur le nombre de classes idéal pour regrouper nos points (Béguin et Pumain, 2000). Ces classes sont désignées ici sous le nom de « classe de stockage de carbone » Ces classes permettent de regrouper les individus ayant un maximum de ressemblances.

Tableau 8.3 : Les valeurs de carbone et de stock de carbone pour chaque classe de stockage

	Nombre d'individus	Carbone ‰			Stock de carbone (kg /m ²)		
		Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
A	18	0	0,17	0,11	0,001	0,72	0,41
B	32	0,23	0,52	0,34	0,72	1,6	1,2
C	51	0,42	0,92	0,63	0,36	2,43	2,03
D	34	0,6	0,9	0,78	2,48	3,17	2,78
E	25	1,07	1,42	1,17	2,79	3,87	3,5
F	37	0,81	1,05	0,93	2,8	4,05	3,36
G	39	1,06	1,57	1,3	3,88	4,87	4,39
H	23	1,3	1,69	1,47	4,86	5,56	5,16
I	11	1,66	1,96	1,82	5,69	6,29	6
J	7	2,22	2,52	2,34	6,97	8,89	7,48

Ces classes sont ordonnées des plus petites aux plus grandes teneurs en carbone et stock de carbone. Il est à noter que les valeurs minimales et maximales de certaines classes pour l'un et l'autre paramètre, mais surtout pour les stocks de carbone, se chevauchent ou sont identiques contrairement aux valeurs moyennes. Cela montre l'intérêt de la classification.

Les classes A, B et C sont les plus pauvres en carbone avec des stocks ne dépassant pas 2 kg / m². Il est à noter que la classe C est la plus représentée sur les sites étudiés. Les classes D, E et F constituent ici un groupe de valeurs encore médiocres, chacune représentée en quantité d'échantillons assez proches. Les quatre autres classes (G, H, I et J) représentent des valeurs moyennes à élevées notamment la classe J. G et H sont bien représentées, en revanche les classes les mieux pourvues en carbone sont peu nombreuses (18 échantillons).

La répartition des classes par exploitation, exprimée en pourcentage du nombre d'échantillons par exploitation (Figure 8.2), indique une distribution différente d'une unité d'exploitation à l'autre. Sur les Fazendas São Nicolau et Preciosa, les classes les plus représentées sont les classes A, B, C, et D, c'est-à-dire les plus pauvres, notamment les trois premières avec 2 kg / m². La classe C est la plus nombreuse sur les 2 fermes. En revanche, l'Assentamento Vale do Amanhecer ne possède que des pourcentages modérés dans ces quatre classes et toujours inférieurs à ceux des deux autres unités.

Dans les valeurs encore médiocres de stockage (classe E), les fermes de São Nicolau, de Preciosa et l'Assentamento sont à peu près également représentés. En revanche, à Sao Nicolau, la classe F est limitée en pourcentage tandis qu'elle possède des pourcentages plus importants sur les deux autres unités, notamment sur Preciosa. Dans la classe G et les suivantes les pourcentages sont systématiquement plus élevés dans l'Assentamento, voire les seuls représentés.

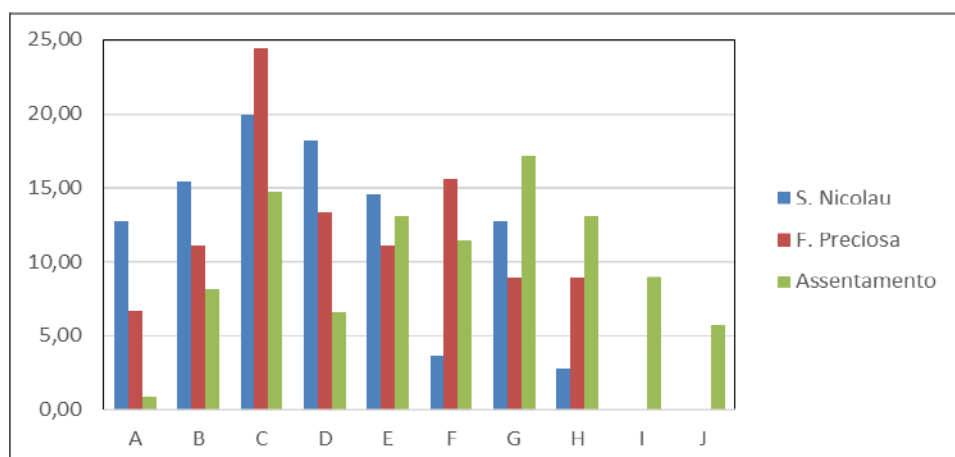


Figure 8.2 : La répartition des classes de stockage par exploitation en pourcentage.

Cela signifie clairement que le carbone et les stocks de carbone peuvent être plus abondants sur cette unité, en revanche São Nicolau et Preciosa se caractérisent par des stocks plus faibles.

8.2. Les classes de stockage de carbone et les propriétés du sol

À partir de la classification effectuée, nous avons cherché à savoir s'il existait un lien dans notre jeu de données entre les paramètres des sols et les classes de stockage de carbone. Nous utiliserons ici en particulier la méthode des *box plots*. Ce type de graphique, selon Braga (2010), est un outil utilisé pour localiser et analyser la variation d'un paramètre d'une classe de données à l'autre. On obtient des informations sur la médiane (ligne qui divise la boîte) et les quartiles (le quartile inférieur contient 25% (1/4) des mesures inférieures et le quartile supérieur contient 75 % (3/4) de toutes les mesures).

Nous examinerons successivement les relations avec la texture, la matière organique, la CEC et le pH. Les autres variables se sont révélées peu intéressantes et n'ont donné aucune information valable.

8.2.1. Les propriétés texturales

Afin de tester les relations classes de stockage de carbone / texture, nous avons commencé par intégrer la classification du carbone au sein de l'espace multidimensionnel obtenu à partir de l'ACP effectuée sur les trois variables de la texture : le sable, le limon et l'argile (Figure 8.3).

Sur la figure 8.3a, le cercle des corrélations rappelle les relations argile / sable / limon vues dans le chapitre 7. La figure 8.3.b montre la corrélation entre les textures du sol et les classes de stockage de carbone. On peut facilement identifier un gradient correspondant au premier axe factoriel sable / argile. De façon générale, les classes de A à J, de plus en plus pourvues en carbone, s'étalent le long de cet axe, depuis le pôle sableux vers le pôle limoneux. Les classes A et B ont une valeur basse de stock de carbone et une teneur élevée en sable. Quoique D soit plus riche en carbone, elle est proche de B et le facteur discriminant semble être le limon. C, E et F et leur relation à la texture paraît être discriminée soit par le limon, soit par l'argile mais toujours en relation avec de faibles valeurs. Les classes de stockage G, H, I et J, les plus riches en carbone se situent nettement sur le pôle argileux. G et H sont discriminés par les limons, la classe I est essentiellement

en relation avec les teneurs en argile. La classe J qui a la plus forte valeur de carbone est liée à de fortes teneurs en argile mais aussi en limons.

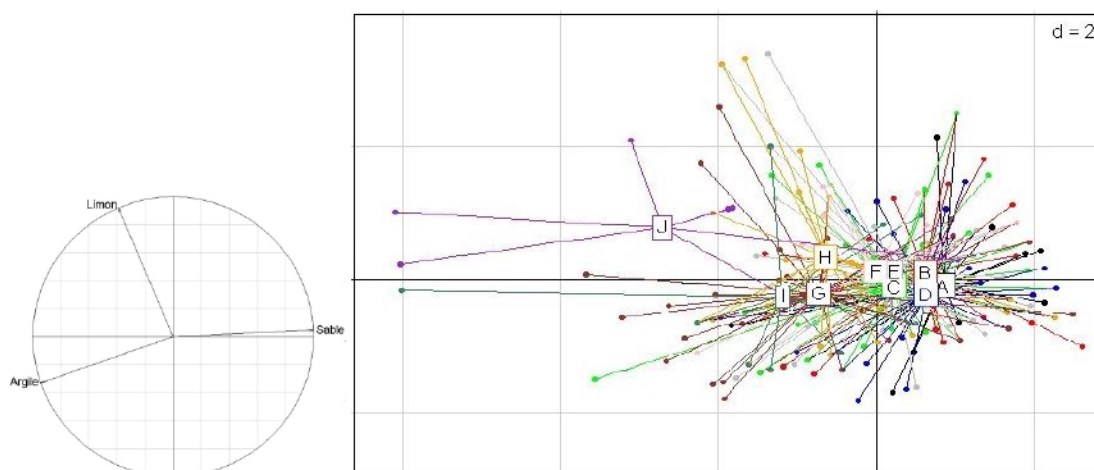
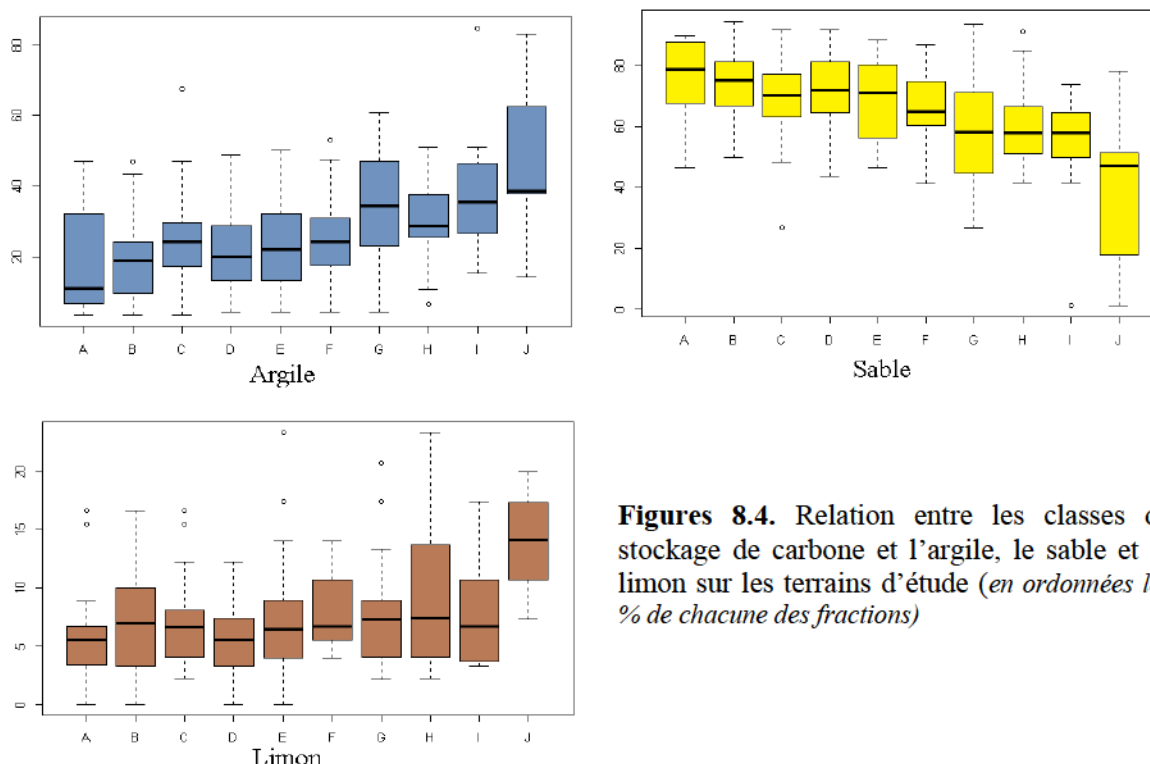


Figure 8.3. Les corrélations texture / classes de stockage de carbone. a : le cercle de corrélation (plan 1–2) ; b : la S-class entre les classes de carbone et les textures des sols.

Sur la figure 8.4, on peut observer que dans toutes les classes, la distribution des données est asymétrique, car les positions relatives de la médiane et des quartiles et le format des « moustaches » sont décalées sauf dans la catégorie limons où les classes E et J sont à peu près symétriques.



Figures 8.4. Relation entre les classes de stockage de carbone et l'argile, le sable et le limon sur les terrains d'étude (en ordonnées les % de chacune des fractions)

Dans les fractions argileuse et limoneuse il n'y a que peu d'*outliers* ce qui indique un bon regroupement de l'information bien qu'ils soient un peu plus nombreux dans la fraction limoneuse.

On note une relation nette entre les pourcentages d'argile et les teneurs en carbone par classe, avec cependant quelques variations si l'on considère la médiane de chaque box. Ainsi on note 3 groupes de classes. Le premier groupe est constitué des classes A, B et C dont les valeurs de médiane croissent avec le pourcentage d'argile, la dissymétrie est particulièrement forte en A avec 75 % de l'information qui se situe dans le quartile supérieur de la boîte, laissant supposer des variations dans la teneur en argile. Le second groupe est constitué des classes D, E, F et G dont la médiane augmente régulièrement. Toutefois nous notons que la médiane de D est inférieure à celle de C et très proche de celle de B, traduisant une moindre proportion d'argile dans cette classe. Cela avait déjà été suggéré par la figure 8.2b. Dans ce groupe la dissymétrie est faible à nulle suggérant une bonne répartition de l'information. Les trois dernières classes ont les valeurs de médiane croissante, mais la médiane de H est là aussi inférieure à celle de G. Ce qui distingue la position des classes G et H sur la figure 8.2b est donc entre autres l'argile. La dissymétrie est plus marquée dans ce groupe et notamment dans la classe J.

Sur le diagramme représentant la relation carbone / sable (figure 8.4), nous constatons une répartition opposée avec une décroissance des valeurs de médiane de A à J. Toutefois on retrouve le même ressaut entre C et D et G, H et I se caractérisent par une même médiane en opposition à J dont la médiane chute. Les dissymétries ne sont marquées que pour E, F et J dont l'information se situe dans les 25 % inférieurs.

Les limons caractérisés par des valeurs faibles possèdent une répartition des box qui se rapproche de celle diagramme argile / carbone mais avec une croissance des valeurs de médiane moins marquée. Seule la classe J se distingue par sa médiane et H par l'amplitude des pourcentages de limons avec une médiane semblable à la classe voisine G. Cela montre bien que le limon est un élément discriminant dans cette classe comme il avait été suggéré par la figure 8.2.

Grâce à l'analyse de ces deux figures, il ressort que la texture est un élément discriminant dans les capacités de stockage de carbone sur les sites étudiés et l'on peut noter que si le pourcentage de limons est toujours faible, dans certains cas il peut se révéler un élément de différenciation. Cela rejoint les conclusions de nombreux auteurs: ainsi, selon Resck *et al.* (2008), la teneur en argile est toujours corrélée avec le stockage de carbone. Les mécanismes qui favorisent le carbone organique des sols (COS) issus de la décomposition sont essentiellement liés à la présence d'argile dans les sols (Six *et al.* 2000). En effet, l'argile contribue à maintenir l'humidité du sol et donc influe sur la décomposition du COS et sa restitution à l'atmosphère (Mclauchlan *et al.* 2006; Castro, 2008). Les sols argileux, avec leur surface spécifique élevée, permettent la fixation des cations, dont les molécules organiques qui en revanche sont facilement lessivées dans les sols sableux. Pour Resk *et al.* (2008), dans les sols bien drainés, les teneurs en carbone sont généralement proportionnelles aux teneurs en argile (ou argile + limon), spécialement dans les sols tropicaux.

8.2.2. La matière organique du sol

Le cercle des corrélations de la figure 7.10 du chapitre précédent montre que la matière organique fait partie des variables jouant un rôle dans la production du carbone du sol en relation avec un certain nombre de variables comme la texture. La matière organique du sol se divise en une fraction légère libre (FLL), une fraction légère intra-agrégée (FLI) et une fraction lourde (FL). Cette dernière se trouve sous forme séparée dans les fractions de sable (>50 µm), limon (2-50 µm) et argile (< 2 µm). Dans la FLI, se trouvent les plus

grands stocks de carbone du sol, dont la dynamique serait étroitement liée à la texture (Tisdall et Oades, 1982 ; Robert et Chenu, 1991)

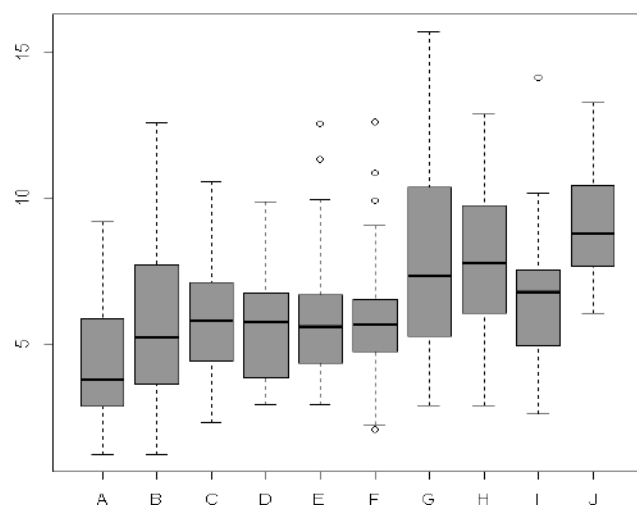


Figure 8.5. Box plot illustrant les relations entre les classes de stockage de carbone et la teneur en matière organique dans l'ensemble des sites d'étude (en ordonnées les % de M.O.).

Sur la figure 8.5, nous pouvons observer le comportement de la MO, par rapport aux classes de stockage de carbone. La tendance générale est l'augmentation de la valeur de la médiane des classes de stockage avec celle des valeurs de matière organique. On observe que dans un certain nombre de classes, la distribution des données est asymétrique car les positions relatives de la médiane et des quartiles et le format des « moustaches » sont décalées. C'est le cas des classes A, B, D, G, I et J. Sauf sur les classes D et I, on a une asymétrie à la droite, avec 75 % de l'information dans les valeurs supérieures. En revanche, il y a peu d'*outliers* montrant bien un regroupement des données correct.

Toutefois, on peut noter un certain nombre de détails indiquant une relation plus complexe. Ainsi, des paliers ou des décalages existent dans la progression des valeurs de médiane ou de distribution de l'information. La classe A possède une médiane < 4 %, les suivantes sont supérieures à 5 % avec la médiane des classes C, D, E, et F à peu près constante. C'est dans les classes de stockage supérieures que l'on a logiquement les plus fortes valeurs de médiane avec cependant une valeur nettement inférieure dans la classe I, alors qu'elle est croissante dans les trois autres classes. En A et B, l'information est regroupée dans les 75 % supérieurs et il n'y a pas d'*outliers*. Ces deux classes sont bien distinctes. La classe C est symétrique avec des « moustaches » à peine décalées, cette classe de stockage étant caractérisée par des valeurs de matière organique homogènes. Dans les autres classes du palier, nous notons que les classes E et F sont relativement similaires mais se caractérisent par des *outliers* qui réduisent l'homogénéité de ces deux classes dans leur rapport à la matière organique. Toujours dans ce groupe constituant le premier palier, la classe D se distingue par sa dissymétrie marquée avec l'essentiel de l'information dans le ¼ inférieur.

Dans le groupe des quatre dernières classes, les classes G, H, et J se caractérisent par un même comportement de la médiane, elles montrent également une dissymétrie avec l'essentiel de l'information dans les ¾ supérieur et les « moustaches » décalées vers les valeurs supérieures des valeurs de matière organique, notamment dans la classe G. Dans ce groupe, comme il a été indiqué ci-dessus pour la médiane, la classe I se distingue par la présence d'un *outlier*, une asymétrie à gauche, c'est-à-dire dans le ¼ inférieur.

Cette analyse montre le rôle de la matière organique dans la production de carbone mais la relation n'est pas linéaire comme le montre la progression des valeurs de la

médiane et les dissymétries. Toutefois, le groupe de classes de stockage de carbone les plus élevées (classes G, H, I, J) montre bien le rôle de la matière organique, même si la classe I se démarque. Il est à noter que les individus appartenant à ces classes sont structurés par la fraction argileuse ou par la fraction argileuse et limoneuse (Figure 8.3). Donc, la relation à la matière organique est confortée par la texture et comme le constatent Rosa *et al.* (2014), l'augmentation de la teneur en carbone corrélativement à l'augmentation de la fraction argile + limon a lieu probablement par agrégation de la matière organique avec les particules d'argile et de limon en constituant des micros et macros-agrégats, lesquels empêchent ou minimisent les pertes de carbone. D'autres auteurs comme Tognon *et al.* (2002) soulignent cette relation dans une étude sous forêt amazonienne.

8.2.3. La CEC, les cations Ca+Mg et le pH

Nous avons vu (chapitre 7) que les propriétés chimiques des sols étudiés sont caractéristiques de sols acides et que les paramètres tels que le pH, la CEC et les cations échangeables (Ca+Mg) sont corrélés le premier à l'argile, les seconds à la fois à l'argile et au carbone (Cf. Figure 7.10).

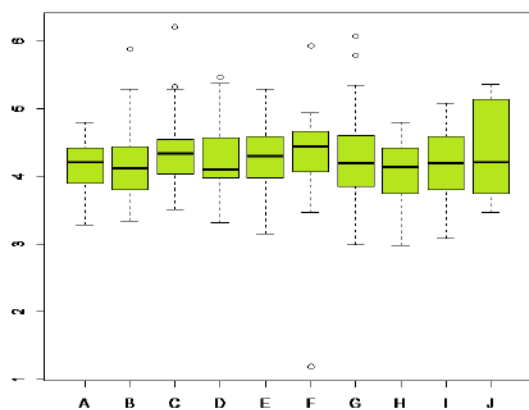


Figure 8.6 Relations entre les classes de stockage de carbone et le pH, dans l'ensemble des sites étudiés

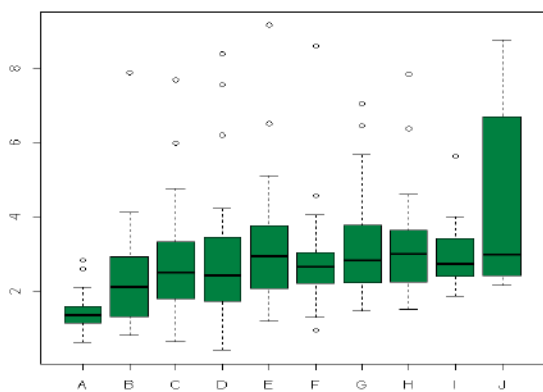


Figure 8.7. Relations entre les classes de stockage de carbone et la CEC dans l'ensemble des sites étudiés

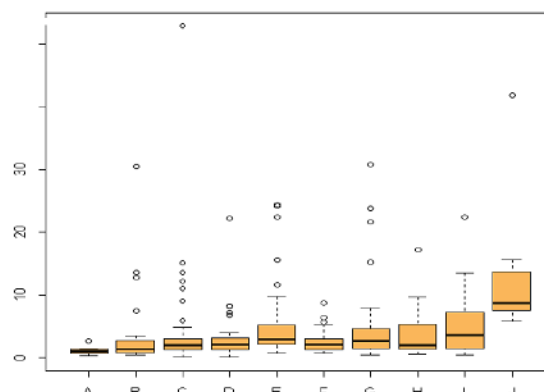


Figure 8.8. Relations entre les classes de stockage de carbone et Ca+Mg dans l'ensemble des sites étudiés

Sur la figure 8.6, sont figurées les relations pH et classes de stockage de carbone. Nous constatons que la médiane de l'ensemble des classes se situe dans une fourchette étroite entre 4,2 et 4,5 environ avec cependant des variations. On peut noter dans l'ensemble que les box s'étendent sur des valeurs regroupées de pH. Ici les valeurs de médiane sont écrasées à cause des *outliers*, notamment l'un d'entre eux dans la classe F et dont la valeur de pH est légèrement supérieur à 1. Les quatre classes ayant la médiane la

plus basse sont celles les mieux pourvues en carbone et un lien fort avec l'argile. Les classes J et D sont les plus dissymétriques et J est celle qui possède les valeurs de pH les plus élevées par rapport aux autres classes et le maximum d'information dans le quartile supérieur.

Sur les figures 8.7 et 8.8, on observe une meilleure expression des relations entre les classes de carbone et les variables. Sur les deux figures nous notons cependant l'importance du nombre des *outliers* qui viennent perturber l'information. Sur la figure 8.7, les médianes des valeurs de CEC de chacune des box montrent globalement un accroissement de leur valeur depuis la classe A jusqu'à la classe J avec un certain nombre d'oscillations négatives de la valeur de la médiane ; c'est notamment le cas en F et I. On peut souligner la dispersion des données dans la classe J avec une très forte dissymétrie mettant un maximum d'information dans le quartile supérieur, laissant supposer pour la classe la plus riche en carbone des valeurs de CEC globalement plus élevées. Enfin, on constate que la classe I est comme dans le cas de la matière organique (Figure 8.5) décalée par rapport à ses voisines. Ceci laisse supposer une relation classe de carbone / CEC / matière organique et donc une relation de ces trois données avec la teneur en argile. Cela est proche des conclusions de Madari *et al.* (2010) selon lesquels les trois facteurs qui affectent la CEC du sol sont la texture, la quantité et le type d'argile et la teneur en matière organique.

Sur la figure 8.8, les valeurs médianes de Ca+Mg des classes de stockage, bien que faibles, augmentent avec les teneurs croissantes en carbone de ces classes. Les quatre classes les mieux pourvues en carbone sont celles où l'on note les valeurs maximales de cations. Pour les premières classes on ne peut voir de symétrie, mais dans les classes supérieures en carbone on constate non seulement une plus grande dispersion des valeurs mais aussi une dissymétrie mettant un maximum d'information dans le quartile supérieur.

Les trois variables examinées ci-dessus montrent que les relations avec les classes de carbone restent difficiles à mettre en évidence. Il existe une relation entre la teneur en carbone et le stock de carbone d'une part, et le complexe CEC / cations échangeables / matière organique et quantité d'argile d'autre part. En revanche, le pH qui reflète les conditions physico-chimiques du sol, est mal exprimé ici du fait de l'homogénéité de ses valeurs. Cela s'explique en particulier par le fait que ces sols sont tous issus de roches siliceuses donc dans un même contexte géochimique.

8.2.4. SiO₂ et le Ki (indice d'altération)

Parmi les paramètres géochimiques du sol nous avons retenu le SiO₂ et le Ki (Figures 8.9 et 8.10).

Sur le graphique de la figure 8.9, nous constatons que les valeurs de médiane des classes de A à F oscillent, et que pour les classes G à J la valeur de la médiane est clairement inférieure. Ceci s'explique par les teneurs en argile plus élevées de ces classes, teneurs en argile qui traduisent un degré d'altération plus fort, et donc des pertes en SiO₂. Cette interprétation est confirmée par le graphique de la figure 8.10 où les valeurs médianes du Ki pour chaque classe suivent une oscillation identique à celle du SiO₂.

Si le SiO₂ et le Ki ne sont pas des paramètres essentiels dans l'explication des teneurs en carbone des sols, ils interviennent indirectement via la fraction argileuse toujours plus abondante dans les matériaux altérés donc ayant perdu de la silice et caractérisés par un faible ki.

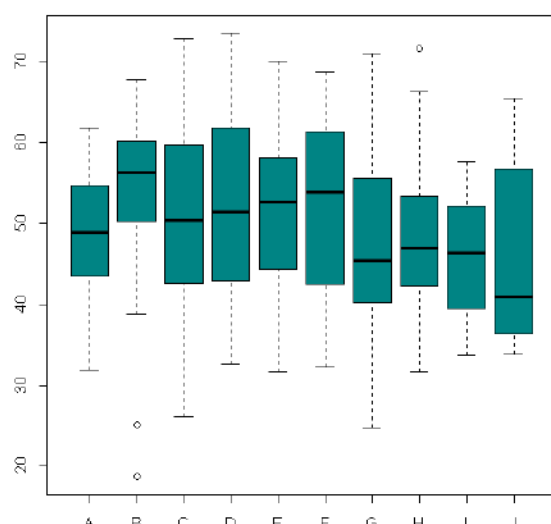


Figure 8.9. Relation entre les classes de stockage de carbone et le SiO_2 .

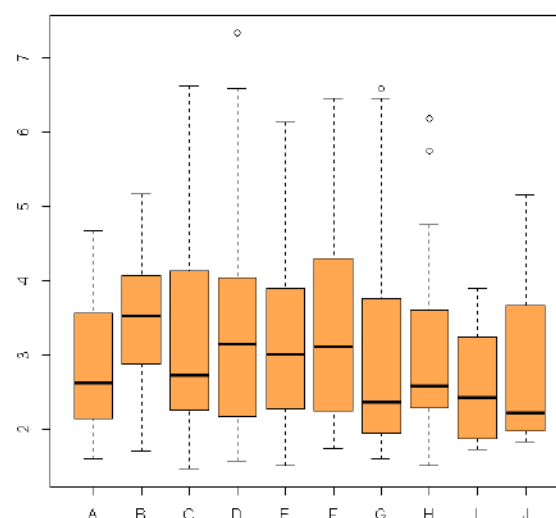


Figure 8.10. Relation entre les classes de stockage de carbone et l'indice d'altération du sol (k_i).

8.3. La cartographie des classes de stock de carbone

8.3.1. Méthodologie

Afin de réaliser une cartographie des stocks de carbone sur les exploitations étudiées, nous avons réalisé une interpolation spatiale à partir des points échantillonnés. Les méthodes d'interpolation sont utilisées dans l'objectif d'évaluer la variabilité spatiale d'un attribut (Gardiman Junior *et al.* 2012). Ici, l'attribut retenu est la valeur de stock de carbone par échantillon prélevé. En effet, les logiciels de cartographie à notre disposition ne nous ont pas permis d'utiliser un attribut qualitatif, comme les classes de stockage de carbone définies précédemment.

Nous avons employé la méthode *Kernel* (de l'anglais noyau) mise au point par Rosenblatt (1956). Cette méthode est considérée comme permettant une analyse exploratoire de données spatiales, en plus d'aider à la visualisation et à la zonation des différents groupes de valeurs d'un attribut sur un site (Bickel et Rosenblatt, 1973). La méthode a été appliquée sur chaque exploitation. Un classement statistique des valeurs absolues de stock de carbone a été effectué en définissant au préalable un nombre de classes identique au nombre de classes de la CAH (8 classes pour les Fazendas Preciosa et São Nicolau, 10 pour l'Assentamento Vale do Amanhecer). L'estimateur *Kernel* (Silverman, 1986) est alors appliqué. Il est défini par la formule suivante :

$$\lambda(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} \kappa\left(\frac{(s-s_i)}{\tau}\right)$$

avec :

$\lambda(s)$: valeur estimée de l'aire d'extension ;

τ : rayon d'influence ;

$\kappa()$: fonction d'estimation de *Kernel*, pour une distribution *gaussienne* ;

s : centre de chaque grille ;

s_i : point de référence.

L'estimateur *Kernel* dessine un voisinage circulaire autour de chaque point d'échantillonnage, correspondant au rayon d'influence. Ensuite, est appliquée une fonction mathématique permettant de différencier deux groupes voisins. La valeur pour chaque cellule est la somme des valeurs *Kernel* superposées et divisées pour les aires d'extension de chaque rayon de recherche (Parzen, 1962 ; Silverman, 1986 ; Wand et Jones, 1995 ; Salha et Hazem, 2009). Le résultat de cette interpolation peut être observé sur les figures 8.11, 8.12 et 8.13.

8.3.2. Résultats

Les classes de stock de carbone et leurs équivalences d'une exploitation à l'autre.

Les classes de stock de carbone ont été calculées, comme il a été dit ci-dessus, sur les valeurs absolues. Il en résulte une certaine dispersion des limites de classe d'une exploitation à l'autre, les valeurs obtenues sur les échantillons des exploitations étant très dispersées comme le soulignent les figures 8.1 et 8.2. De ce fait, pour pouvoir mettre en évidence les points communs et les points de divergence entre les exploitations nous avons été amenés à faire des groupes équivalents entre exploitations.

A partir des valeurs limites de classe consultables sur les légendes des figures 8.11, 8.12 et 8.13 et le tableau en annexe (Annexe A1.3), et afin d'établir une typologie claire, nous avons regroupé, pour chaque exploitation, les classes en fonction de leur appartenance à des stocks de carbone très faibles ($< \sim 2,5 \text{ kg/m}^2$), faibles ($> \sim 2,5$ et $< 3,70 \text{ kg/m}^2$), moyennes ($> \sim 3,75$ et $< \sim 5,50 \text{ kg/m}^2$) et élevées ($> 5,64 \text{ kg/m}^2$). Ces groupes sont présentés sur le tableau 8.4.

Tableau 8.4. Les regroupements de classes sur les trois exploitations.

Typologie de classes	Assentamento Vale do Amanhecer 10 classes	Fazenda São Nicolau 8 classes	Fazenda Preciosa 8 classes
Faible ($< \sim 2,5 \text{ kg/m}^2$)	A, B	A, B, C, D	A, B, C, D
Modéré ($> \sim 2,5$ à $\sim 3,7 \text{ kg/m}^2$)	C, D, E	E, F	E, F, G
Moyen ($> \sim 3,7$ à $5,5 \text{ kg/m}^2$)	F, G, H.	G, H	H
Elevé ($> \sim 5,5 \text{ kg/m}^2$)	I, J		

La Fazenda Preciosa

La zonation des classes de carbone obtenue peut être estimée correcte là où la densité d'échantillons prélevés est satisfaisante dans la partie centre ouest de l'aire cartographiée, en revanche dans la partie est et sud-est de la carte l'absence d'échantillons ne permet pas d'être certain de la distribution proposée.

Les huit classes de stock de carbone (A à H) ont les valeurs qui s'échelonnent entre 0,01 et 5,34 kg/m^2 . Les stocks les plus faibles (A, B, C et D soit entre 0,01 et 2,57 kg/m^2) se situent au centre de la fazenda dans un secteur où se concentrent les cours d'eau. Ils occupent une partie importante de la fazenda. Les autres classes voient leur teneur croître vers la périphérie. Les classes de teneur modérée (E, F) se situent sur les versants de vallée

et la retombée du plateau resté largement en forêts. Les classes G et H, les mieux pourvues en carbone, se localisent sur les versants de vallée au Nord-est de la carte et à la limite sud-ouest.

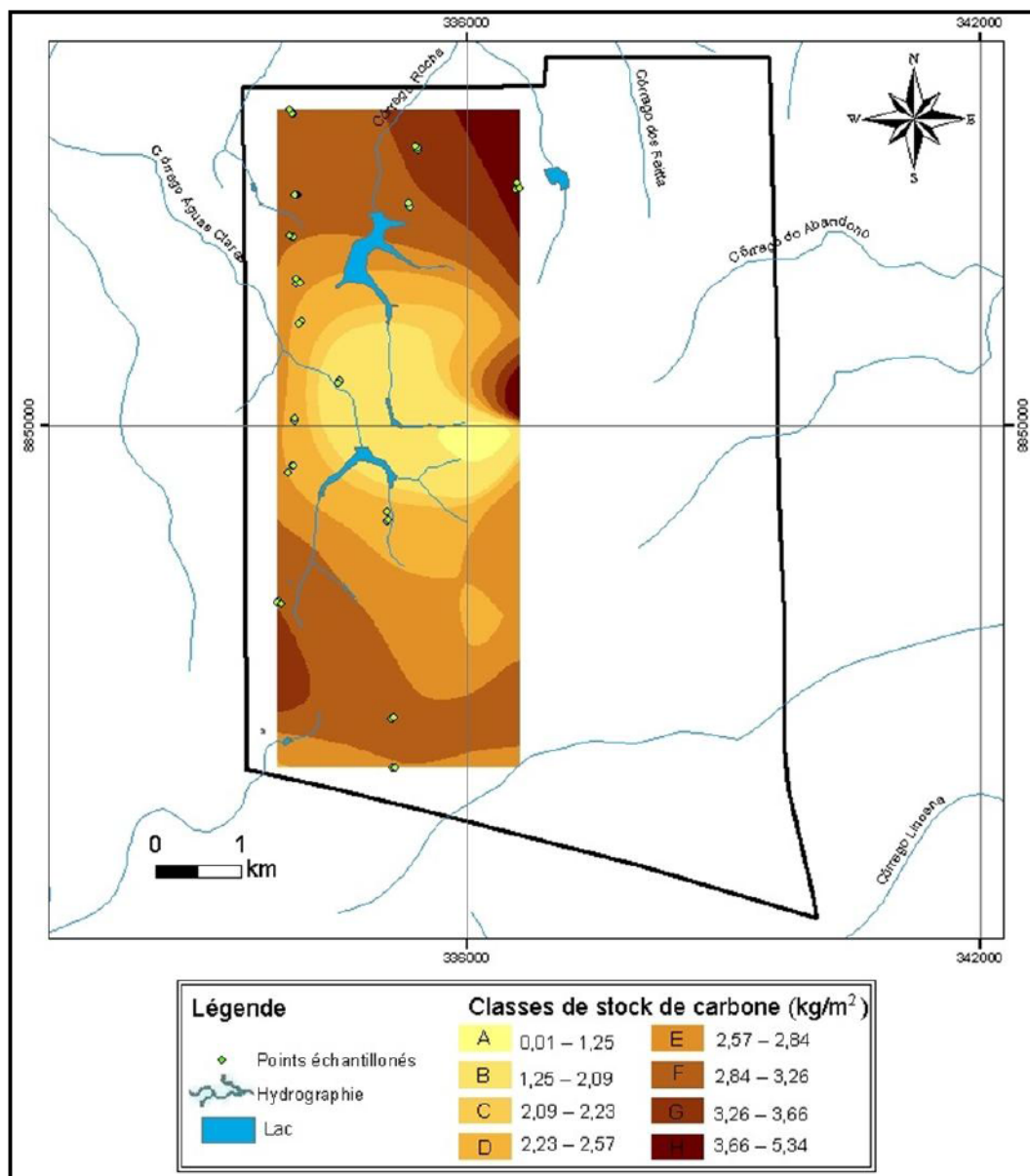


Figure 8.11. Distribution des 8 classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa.

L'Assentamento Vale do Amanhecer

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (figure 8.12), les échantillons prélevés sont particulièrement présents au Nord-ouest (amont des Córrego do Abandono et Córrego Vale do Amanhecer). Dans la partie centrale et est, autour du bassin versant du Rio Teixeira, on note une dispersion plus grande. Ces deux ensembles constituent donc une base de cartographie satisfaisante. Il est à souligner l'absence de prélèvements en rive droite du Córrego da Reserva, faisant de ce secteur une unité cartographiée avec une forte incertitude. Les 10 classes de stock de carbone ont des valeurs comprises entre 0 et 8,89 kg/m².

Les classes de faible valeur (A et B, < 2,54 kg/m²) ne sont que peu représentées. Comme nous l'avons vu ci-dessus, nous ne pouvons en tenir compte en limite sud de la

carte et seul le fond de vallée du Córrego da Reserva appartient de façon certaine à cette zone à faible teneur en stock de carbone, stock qui augmente dès que l'on monte sur les versants.

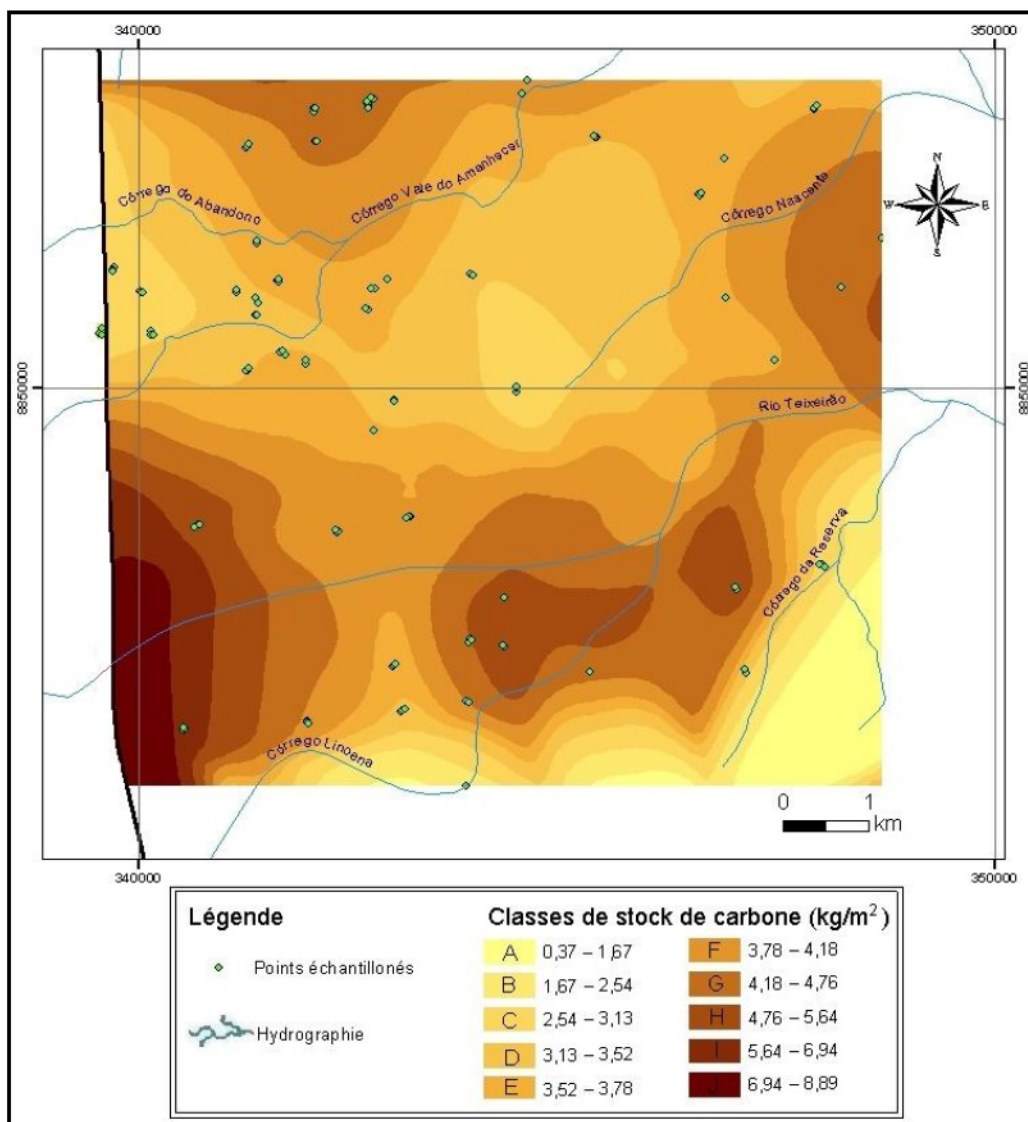


Figure 8.12 : La distribution des classes de stockage de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer

Le bassin versant des Córregos Vale do Amanhecer et do Abandono ainsi que l'amont du bassin versant du Córrego Nascente se caractérisent par des teneurs en stock de carbone modéré (C, D et E, 2,54 à 3,78 kg/m²). Cette zonation est soutenue par une densité de points suffisante sauf sur l'interfluve entre les Córregos Vale do Amanhecer et Nascente où le nombre d'échantillon est plus limité mais témoigne d'une zonation locale.

Les classes à teneurs moyennes (F, G et H, 3,78 à 5,64 kg/m²) sont largement représentées dans la partie méridionale de l'assentamento, dans le bassin versant du Rio, secondairement en rive gauche du Córrego Vale do Amanhecer. Les classes (I et J, 5,64 à 8,89 kg/m²) sont concentrées à l'amont du bassin versant du Rio Teixeira sur la bordure du plateau et de sa retombée vers le Rio Juruena. Il est à noter que sur l'interfluve Teixeira / Linoena, il existe un prélèvement dont la teneur en stock de carbone est de 8,89 : isolé au milieu d'échantillons dont les valeurs oscillent autour de 5 kg/m², il n'a pas été pris en compte par l'estimateur Kernel.

La Fazenda São Nicolau

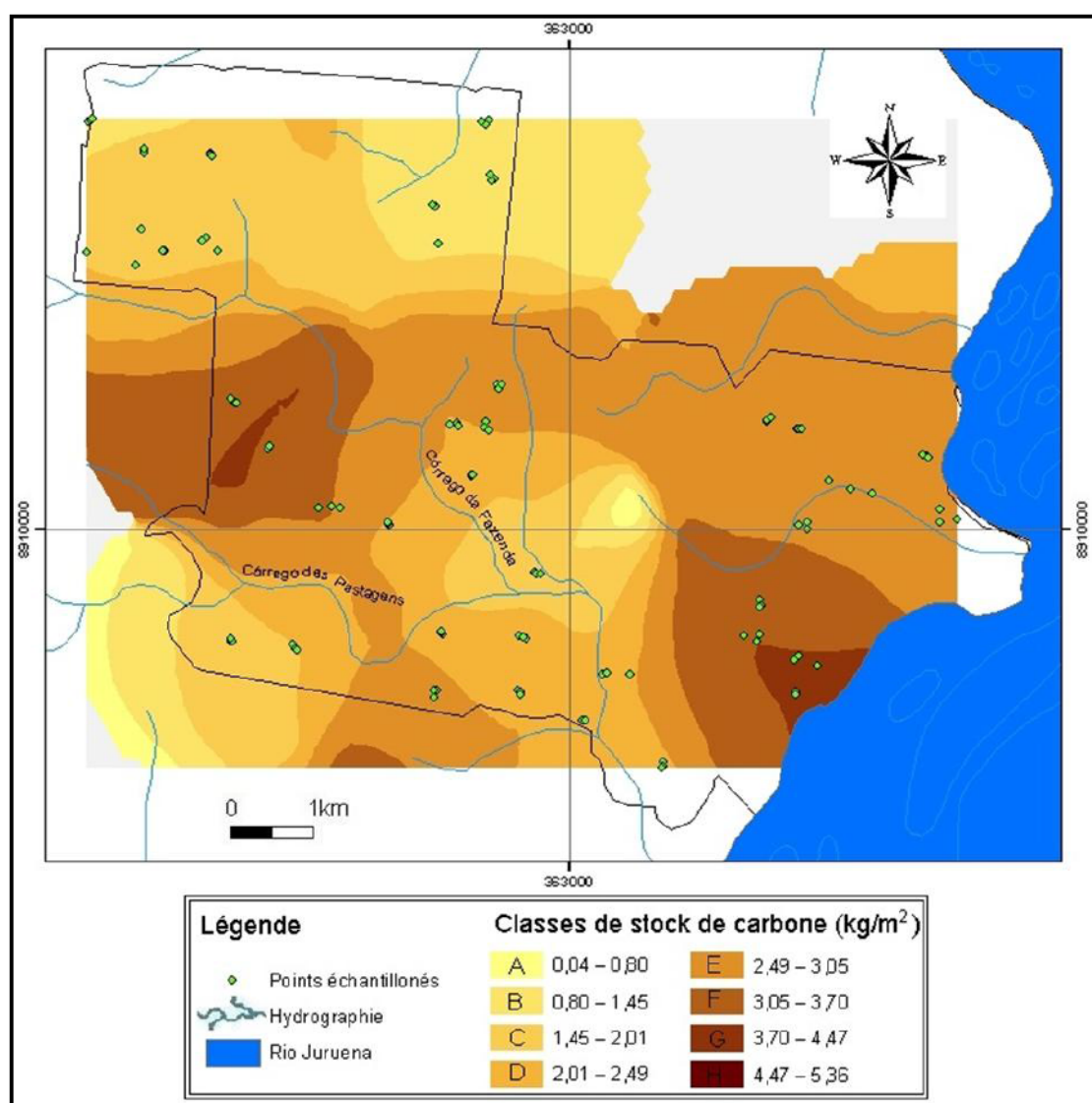


Figure 8.13 : Distribution des 8 classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau.

Sur la Fazenda São Nicolau (Figure 8.13), les points échantillonnés sont répartis sur l'ensemble de cette unité, donnant une image majoritairement acceptable de la zonation. Toutefois nous notons quelques espaces vides au centre nord et dans la partie amont des petits cours d'eau élémentaires se jetant directement dans le Rio Juruena. Les classes de carbone représentées sont les mêmes que sur la Fazenda Preciosa.

Les classes à faible teneur (A, B, C et D, 0,04 à 2,49 kg/m²) sont centrées sur l'aire de confluence des Córregos da Fazenda et das Pastagens et à l'angle sud-ouest de la fazenda. Les classes B, C et D sont généralisées sur la partie nord – nord-ouest de la fazenda. Les faibles teneurs en stock de carbone couvrent une partie non négligeable de la Fazenda.

Les classes à teneurs modérées (E et F, 2,49 à 3,70 kg/m²) correspondent à une grande bande dans la partie médiane de la fazenda, qui va d'Ouest en Est et s'infléchit vers le Sud le long du Rio Juruena. Une autre branche descend vers le Sud isolant la zone de confluence des Córregos da Fazenda et das Pastagens. L'échantillonnage est moyennement

abondant mais bien dispersé. La classe F (3,05 à 3,70) constitue deux plages importantes aux extrémités de cette bande, l'une à l'Ouest, l'autre au Sud-est en bordure du Rio Juruena. Cette bande médiane occupe une large surface sur la fazenda. Les classes G et H (3,70 à 5,36 kg/m²) sont insérées dans l'unité spatiale F et ils restent peu présents.

En conclusion, la spatialisation des données montre une répartition des stocks de carbone spécifique à chaque site d'étude. Sur la Fazenda Preciosa, les espaces à faible teneur en stock de carbone sont très présents dans la partie la plus déprimée de l'exploitation et seuls les pourtours de la fazenda, sur les hauteurs, conservent encore des stocks modérés. L'Assentamento Vale do Amanhecer est l'unité d'exploitation la plus riche en stock de carbone avec une opposition nord – sud : au Nord, la distribution de stocks de valeur moyenne est centré sur le bassin versant du Córrego Vale do Amanhecer alors qu'au Sud, avec des valeurs de stock plus importantes, la distribution est centrée sur le bassin versant du Rio Teixeira. Sur ces deux exploitations, la logique de distribution des stocks de carbone semble en partie liée à l'organisation en bassin versant, ce qui n'exclut pas l'intervention humaine. En revanche sur la Fazenda São Nicolau, la présence d'un secteur médian prenant en écharpe l'exploitation selon une direction ouest – est et où les stocks de carbone sont les plus élevés, ne semble obéir à aucune règle issue du fonctionnement des mécanismes naturels.

8.4. La répartition des classes de stockage de carbone et la texture des sols

Nous avons identifié neuf classes de texture (Chapitre 7, § 7.1) qui vont du sable à l'argile lourde et nous avons vu dans ce chapitre (§ 8.2.1) les fortes relations entre la composition granulométrique et les classes de stockage de carbone. Dans ce paragraphe, nous allons tenter de spatialiser les relations entre les valeurs de stock de carbone et les classes texturales en superposant sur chaque site d'étude les cartes de l'un et l'autre thème. Les figurés choisis pour représenter les classes texturales dominées par les sables sont des points noirs de différentes tailles et densités. Ceux retenus pour représenter les classes dominées par l'argile sont des traits noirs de différentes tailles, continus ou discontinus.

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 8.14), nous pouvons voir un certain nombre de correspondances entre les secteurs où il y a les teneurs les plus élevées en stock de carbone et les textures les plus argileuses. Ainsi globalement, le bassin versant du Rio Teixeira plus riche en stock de carbone possède des sols à texture dominée par l'argile. En revanche, au Nord, sur le bassin versant du Córrego Vale do Amanhecer où les stocks de carbone sont plus faibles, ce sont les sols à dominante sableuse qui sont largement représentés.

Dans la partie sud, nous notons que les textures à dominante argileuse sont principalement localisées en rive droite du Rio Teixeira sur les interfluves avec le Córrego Linoena et le Córrego da Reserva. En rive droite, nous retrouvons ces textures en amont de l'interfluve avec le Córrego Vale do Amanhecer et sa prolongation vers l'Est sur l'interfluve avec le Córrego do Abandono. Sur ces interfluves, les deux classes de stock de carbone les plus représentées sont les classe F et G à teneur moyenne (3,78 à 4,76 kg/m²). Secondairement, on trouve la classe H toujours dans la catégorie de valeurs moyennes (4,76 à 5,64 kg/m²) sur les interfluves de rive droite du Rio Teixeira avec ses deux affluents. Au Sud-ouest de l'assentamento, à l'amont du Rio Teixeira, sur un secteur caractérisé par des classes I et J de stock de carbone élevé (5,64 à 8,89 kg/m²), on note la présence d'argiles lourdes, d'argiles sablo-limoneuses et d'argiles sableuses. Sur ce secteur nous constatons aussi la présence de sols sableux mais localisés sur les versants et au fond des vallées des córregos avec des correspondances médiocres avec la cartographie des

stocks de carbone. Ce décalage s'explique d'une part, par la différence de méthode utilisée pour cartographier les deux thèmes et d'autre part, par une grille d'échantillonnage trop espacé dans ce secteur.

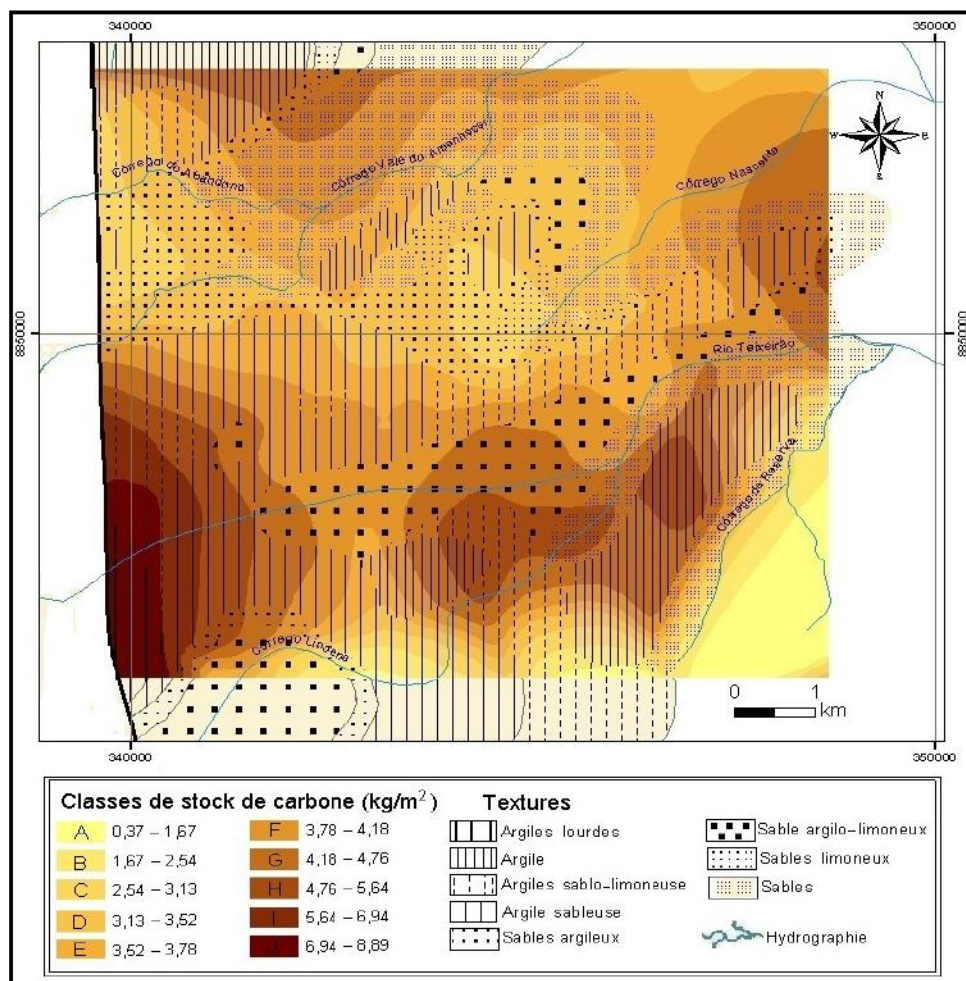


Figure 8.14. Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer. (L.-A. Nascimento, 2015).

Les textures sableuses sont plus répandues au Nord de l'assentamento. Toutefois un examen détaillé montre localement des imbrications textures sableuses / textures argileuses sans que l'on observe une relation toujours évidente avec les stocks de carbone, appartenant majoritairement à la catégorie des teneurs modérées avec les classes C, D et E (2,54 à 3,78 kg/m²) sauf sur la basse vallée du Córrego Nascente où prédomine les classes F, G, H (3,78 à 5,64 kg/m²) sous une forêt alluviale.

Ce secteur nord indique donc l'intervention d'autres facteurs que la texture pour expliquer la distribution des stocks de carbone.

Sur la Fazenda Preciosa (Figure 8.15), les textures argileuses sont peu représentées, en revanche nous avons quatre classes de sables.

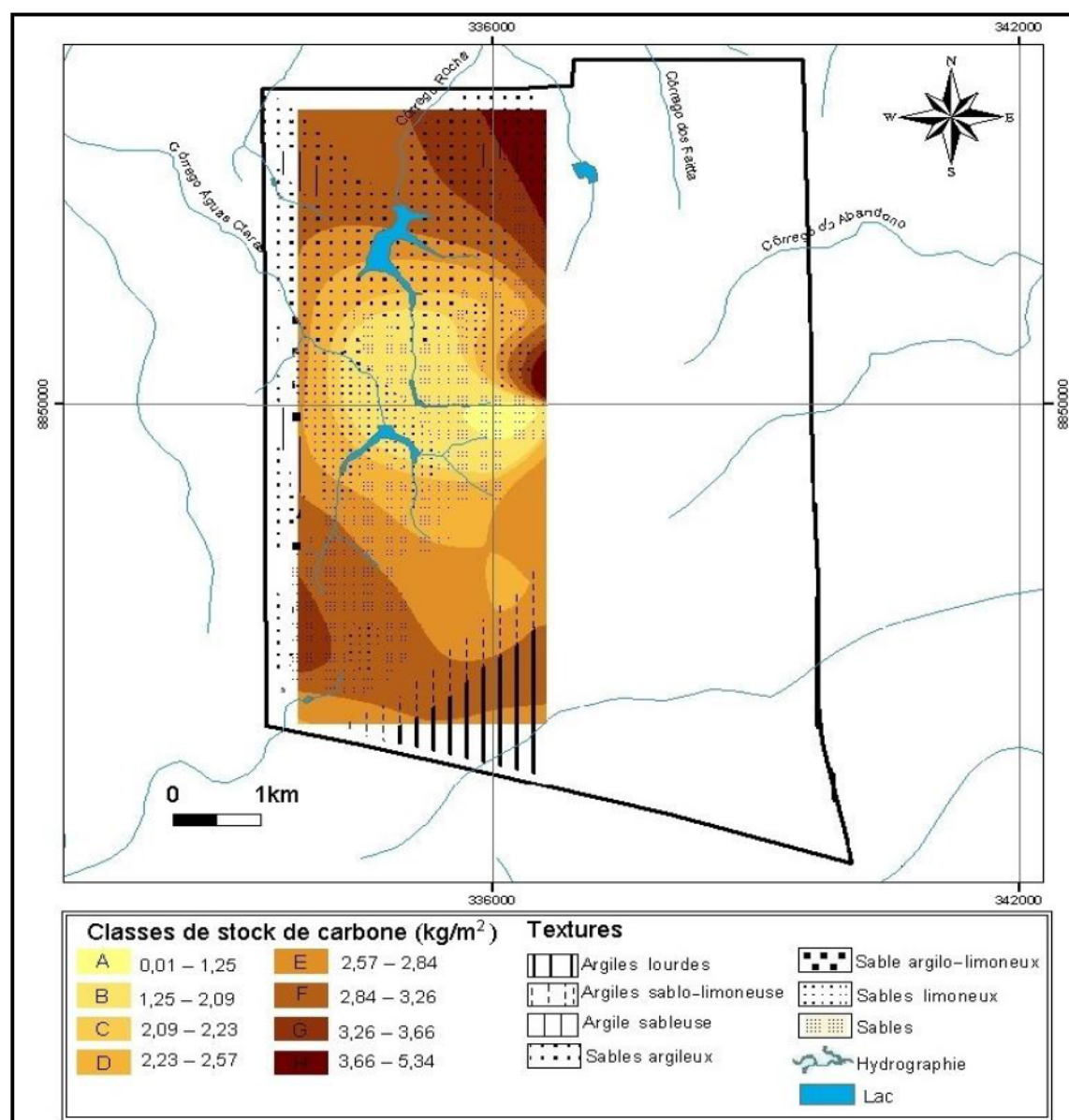


Figure 8.15. Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur la Fazenda Preciosa. (L.-A. Nascimento, 2015).

Dans la partie centrale déprimée de la fazenda et constituant une cuvette, les classes de sables et sables limoneux dominent avec des stocks faibles de carbone (classes B et C soit 1,25 à 2,23 kg/m²). En remontant vers les hauteurs du Sud-ouest, on reste sur des textures sableuses à sablo-limoneuses mais avec des stocks de carbone qui augmentent (classes D à F soit 2,23 à 3,26 kg/m²). En revanche du centre de la cuvette vers le Nord et le Nord-ouest, les teneurs en argile augmentent (présence de sables argileux et quelques placages d'argiles sableuses) avec des teneurs en carbone croissantes vers la périphérie (classes D à F).

S'il existe de façon certaine une relation stock de carbone / texture, cette cartographie laisse supposer que le facteur anthropique joue un rôle important.

Sur la Fazenda São Nicolau (Figure 8.16), la distribution des classes texturales argileuses à sableuses se fait selon un gradient sud-ouest – nord-est.

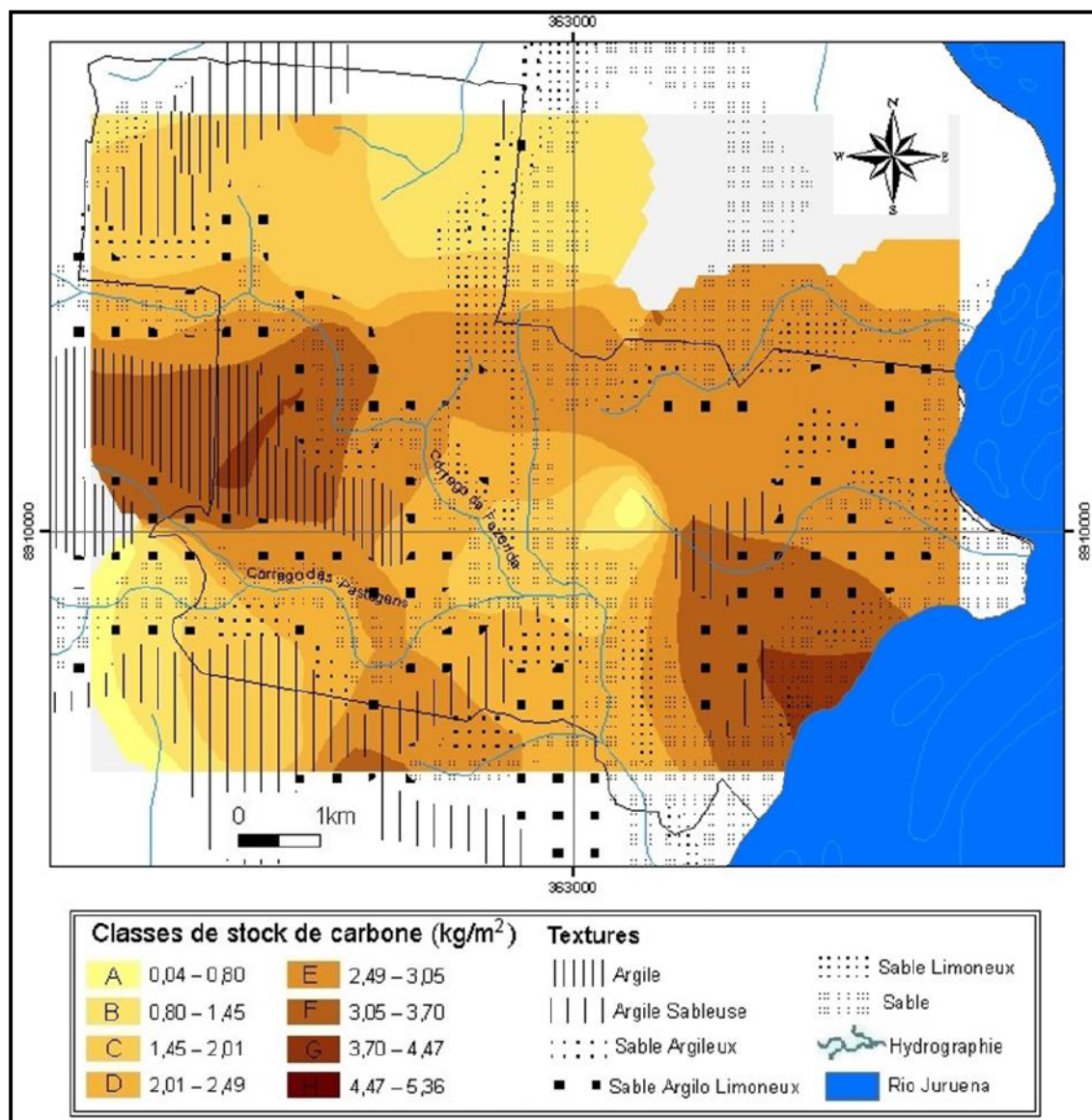


Figure 8.16. Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur la Fazenda São Nicolau. (L.-A. Nascimento, 2015).

En revanche nous avons constaté dans le paragraphe précédent (§ 8.3.2) que la répartition des stocks de carbone s'effectue différemment : les stocks de carbone les plus élevés se situent sur un axe médian Ouest - Est possédant deux branches vers le sud.

Ce n'est que localement qu'on observe un lien texture / stock de carbone. Ainsi, à l'Ouest sur l'interfluve entre le Corrego da Fazenda et le Corrego das Pastagens les sols possèdent des textures dominées par les argiles et des stocks de carbone appartenant aux classes G et H (3,70 à 5,36 kg/m²). De même dans le secteur de confluence entre ces deux córregos, les sols à dominante sableuse ont des teneurs en carbone faibles (classe C : 1,45 à 2,01 kg/m²).

En revanche, partout ailleurs les relations textures / stocks de carbone sont médiocres. Ainsi, au Sud-ouest, on a une très mauvaise corrélation entre les classes texturales et les classes de carbone (sols argileux et stocks de carbone médiocre). Nous pouvons noter dans le secteur sud-est de la fazenda, en bordure du Rio Juruena sous forêts naturelles, des teneurs de carbone plus élevées (Classes F, G et H soit 3,05 à 5,36 kg/m²).

liées à des classes de texture qui vont d'un pôle argileux (argiles sableuses) à un pôle sableux. Vers l'Est de la Fazenda les relations sont difficiles à effectuer, en effet la répartition des classes de texture est très discontinue, même si la texture sableuse domine notamment sur les versants des petites vallées et dans le fond de celles-ci. Les valeurs de stock de carbone appartiennent à la catégorie modérée (classe E, 2,49 à 3,05 kg/m²).

La Fazenda São Nicolau est l'exploitation où les relations Stocks de carbone et textures sont les moins évidentes, laissant une part importante au facteur anthropique.

Conclusion du chapitre 8

Les valeurs de stock de carbone varient sur l'ensemble des sites de 0 à 8,89 kg/m². On note une forte dispersion des données de stock de carbone au sein de chaque classe texturale. L'analyse montre des valeurs par exploitation relativement plus faibles sur les Fazendas São Nicolau et Preciosa apparemment moins bien pourvues en carbone que l'Assentamento.

Une classification hiérarchique fondée sur les valeurs de carbone et les stocks de carbone (kg/m²) a permis de définir 10 classes ordonnées des plus faibles valeurs aux plus élevées. Les classes de stockage de carbone confrontées à différents paramètres du sol montrent le rôle de la texture dans ce processus de stockage.

Le rôle de la fraction argileuse a été mis en évidence ainsi que celui de la matière organique. Les autres paramètres n'interviennent qu'indirectement, étant plus ou moins contrôlés par les premiers.

Enfin la roche mère de ces sols est identique sur les trois exploitations et tend donc à homogénéiser un certain nombre de variables ne permettant pas de cerner l'implication de celles-ci dans le stockage du carbone.

La spatialisation des stocks de carbone a permis de confirmer les données précédentes, c'est-à-dire la supériorité en carbone de l'assentamento. Par ailleurs les distributions des stocks sur les différentes exploitations obéissent à des règles différentes. Ainsi sur l'Assentamento Vale do Amanhecer et la Fazenda Preciosa, la répartition des stocks de carbone est liée plus ou moins strictement à l'organisation des bassins versants, ce qui n'est pas le cas sur la Fazenda São Nicolau.

La confrontation de la spatialisation des classes de stock de carbone à la distribution des classes de texture sur chaque exploitation agricole a permis de montrer que la relation entre stocks de carbone et texture est vérifiée dans un grand nombre de cas.

Ainsi, le caractère plus argileux de l'Assentamento correspond aussi à des valeurs de stockage de carbone plus élevées et inversement sur la Fazenda Preciosa. Cette relation peut être médiocre comme sur la Fazenda São Nicolau. A partir de cette spatialisation, on peut identifier parmi les classes de texture celles qui jouent un rôle essentiel dans les capacités de stockage du carbone.

Chapitre 9

Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols

Chapitre 9 – Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols

Introduction du chapitre 9

Le stock de carbone du sol sous couverture végétale naturelle représente le bilan dynamique entre l'apport de matière provenant de plantes et animaux morts, la perte par la décomposition ou minéralisation et la capacité de fixation du carbone dans le sol (Camargo *et al.* 2009). Pour essayer de minimiser la quantité de carbone présente dans l'atmosphère, il est intéressant que s'élargissent les aires forestières avec pour objectif la fixation du carbone sous forme de biomasse végétale et, en même temps, créer des conditions optimales pour l'augmentation du carbone dans le sol. En effet, la production primaire de la biomasse est la seule source de matière organique pour la plupart des sols amazoniens (Batjes, 1998 ; Bernoux *et al.* 2005 ; Carreire, 2009)).

Higuchi *et al.* (2004) ont constaté dans leurs études développées dans l'Amazonie Centrale pendant 14 ans, des valeurs de 1,2 t.ha⁻¹ de carbone stocké en une année. Fearnside et Guimarães (1996) ont trouvé dans une forêt basse d'Amazonie de 10 ans d'âge une valeur de stock de carbone de 6 à 10 t.ha⁻¹. an⁻¹. Souza *et al.* (2012), dans une forêt expérimentale de l'EMBRAPA à Manaus ont enregistré des valeurs de stock de carbone entre 173,63 t ha⁻¹ et 181,01 t ha⁻¹ sur une période d'étude de 5 ans. Cerri *et al.* (1996) ont constaté dans les premiers 100 cm de sols de l'Amazonie des valeurs de carbone variant entre 7,3 et 21,7 kg/m². Cette fourchette de variation est plus réduite (8 à 10 kg/m²) pour les latosols jaunâtres, les latosols rouge-jaunâtres et les argisols (anciens podzols) rougeâtres dystrophiques. Pour ces auteurs, au total, sont stockés 47 Pg (1Pg = 10¹⁵g) de carbone par l'ensemble des sols du Bassin Amazonien, dont 45 % de ce total est concentré dans les 20 premiers cm.

Dans ce chapitre nous présentons les résultats obtenus sur les trois sites. Dans un premier temps nous analyserons les relations stocks de carbone et les différents thèmes d'occupation du sol au moyen de l'approche par « *box-plots* » que nous avons déjà utilisé dans le chapitre 8 (§ 8.2). Dans un second temps, nous tenterons de comprendre le rapport spatial entre les stocks de carbone dans le sol et les différentes formes d'exploitation dans les trois unités étudiées.

9.1. Stock de carbone et occupation du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer

9.1.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol

La figure 9.1 met en relation les valeurs de stock de carbone et les différents thèmes de l'occupation du sol. Les valeurs de stock de carbone s'étalent entre environ 0,37 et 8,89 kg/m².

Le thème « forêt » regroupe les forêts basses et hautes et s'étalent sur des valeurs comprises entre 0,75 et 7,26. La boîte se situe sur des valeurs entre 3,75 et 6 avec une dissymétrie très marquée de part et d'autre de la médiane située à 5,4, l'essentiel des prélèvements ayant des valeurs inférieures. Donc l'essentiel des échantillons possèdent des valeurs moyennes et nous notons une très forte hétérogénéité des valeurs de stock de carbone sous couvert essentiellement naturel.

Les « capoeiras » montrent un étalement des valeurs identique avec les teneurs de stock les plus représentées entre 2 et 4,80 kg/m², l'essentiel des échantillons se situant en

dessous (entre 2 et 3, 90). La « capoeira » qui est une forme dégradée de la forêt présente donc des stocks de carbone globalement inférieurs à ceux de la formation végétale initiale.

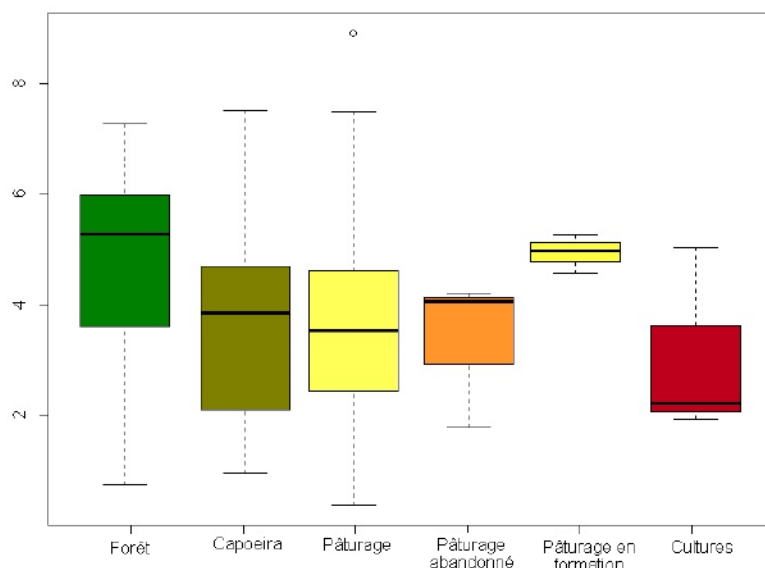


Figure 9.1. Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur l'assentamento

Les pâturages ont été subdivisés en pâturages, pâturages abandonnés et pâturages en formation. Les premiers sont entretenus, tandis que les seconds voient un couvert végétal plus haut se développer, les derniers ont une végétation basse et ne sont pas encore pâturés. Cette distinction s'est faite à l'aide des propriétaires. Les pâturages en exploitation couvrent une grande variété de valeurs de stock de carbone allant de 0,37 à 8,89 kg/m², se traduisant par une grande ampleur des « moustaches » et la présence d'un *outlier*. La boîte est délimitée par des valeurs comprises entre 2,6 et 4,8 (soit des valeurs moyennes, avec une médiane centrée, montrant une homogénéité d'une majorité des échantillons, malgré des valeurs extrêmes dispersées. Cela est sans doute lié à l'histoire propre à chaque parcelle. Les pâturages abandonnés ont des valeurs plus concentrées et la boîte se situe sur des valeurs du même ordre de grandeur. Cela s'explique, car ces pâturages n'ont pas été abandonnés suite à un épuisement du sol mais parce que l'« assentado » a renoncé à l'exploitation de la parcelle. Le thème pâturage en formation montre des valeurs de stockage de carbone avec une médiane de 5, valeur proche de celle des couverts forestiers.

Les cultures (ici café et noix de coco) sont sur des sols à stocks de carbone compris entre 1,91 et 5,01 kg/m². La boîte concentrée sur des valeurs entre 2,1 et 3,8, soit des valeurs modérées à moyennes, possède une forte dissymétrie avec l'essentiel des échantillons dans la partie supérieure. Ces cultures, menées en dehors de programmes d'agro-foresterie, ont été faites sur des parcelles antérieurement en pâturages. On aurait là un exemple d'appauvrissement en stock de carbone suite à des pratiques non conformes aux SAFs.

Nous pouvons ici constater un léger appauvrissement en carbone dans les sols quand on passe de la forêt aux pâturages, que cela s'accroît si des cultures sont menées sans précautions. Toutefois, il faut souligner que le stock de carbone initial est extrêmement variable.

9.1.2. La répartition des stocks de carbone et de l'occupation du sol sur l'assentamento

Les thèmes retenus dans ce paragraphe ont été regroupés en deux grandes catégories, les formations forestières (toujours fermées et ligneuses) et les formations ouvertes dominées par les pâturages et ce que nous avons désigné sous l'expression « sols nus ». Dans le chapitre 5, nous avons précisé que l'expression représentait des formes diverses d'occupation allant du sol dénudé à une couverture basse et discontinue. Cela peut donc englober des cultures ou des parcelles très récemment défrichées.

9.1.2.1. Les formations forestières

Les forêts hautes et basses

Sur la Figure 9.2, on peut voir les forêts hautes (hachures verticales) et les forêts basses (hachures obliques) avec leurs localisations respectives superposées aux dix classes de stock de carbone. De façon générale, les forêts hautes se trouvent sur le pourtour de l'exploitation. Dans la partie Sud-ouest de l'assentamento, la forêt haute est développée sur des sols dont les stocks de carbone appartiennent aux classes de stock moyen (G, H) à élevé (I). Les mesures effectuées sur les échantillons de sol de ce secteur donnent des valeurs de 5,95 et 6,13 kg/m².

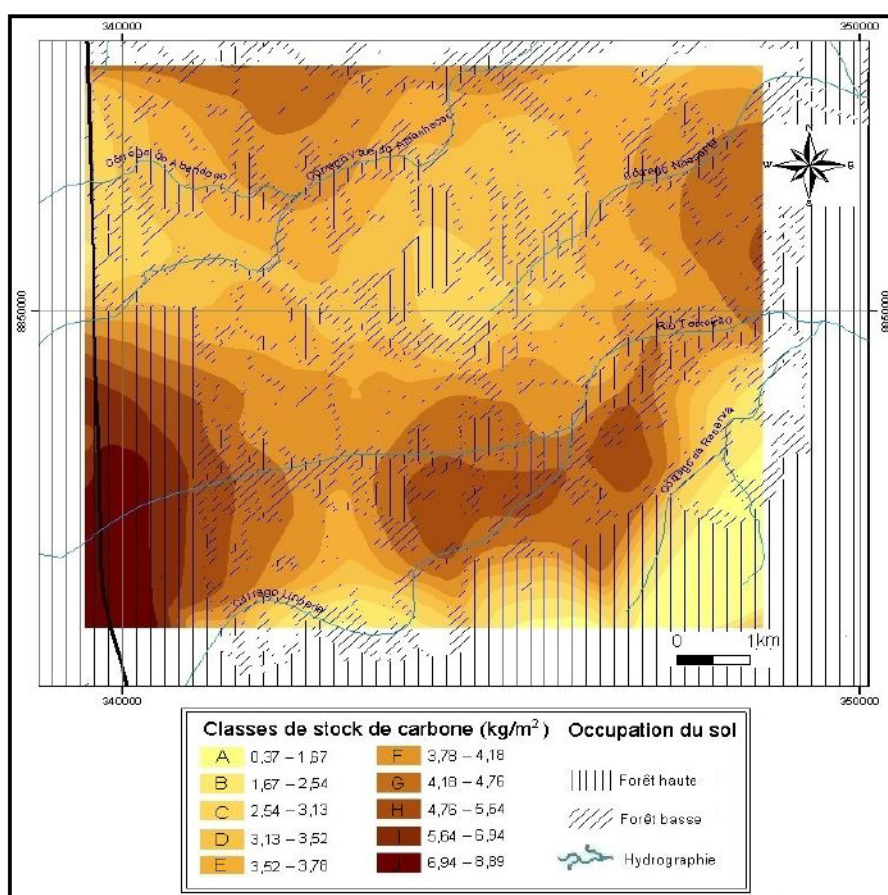


Figure 9.2. Répartition des forêts hautes et basses et des classes de stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer. (L.-A. Nascimento, 2015).

Les secteurs de forêts hautes sont présents encore sur la partie exploitée de l'assentamento dans les interfluviaux. Ils sont toujours très discontinus et ils correspondent

dans la partie nord à des teneurs modérées en stock de carbone, essentiellement les classes C à E (2,54 à 3,78 kg/m²). En revanche, dans la partie sud, sur l'interfluve entre le Rio Teixeira et le Córrego da Reserva de l'assentamento, les forêts hautes correspondent à des teneurs en carbone moyennes (F à H, 3,78 à 5,64 kg/m²).

Les stocks de carbone sous forêts basses appartiennent aux mêmes classes de stock de carbone que la forêt haute à l'exception de la partie sud-ouest où n'est présente que la forêt haute.

En conclusion, sous forêt, les valeurs de stock de carbone les plus élevées sont au Sud-ouest, tandis que sur la partie exploitée de l'assentamento les valeurs sont médiocres au Nord et moyennes vers le Sud

Les « capoeiras »

Les capoeiras (Figure 9.3), toujours de très petites dimensions et très dispersées sur l'ensemble de l'unité, correspondent essentiellement aux classes C à H, c'est-à-dire à des stocks de carbone de valeurs modérées à moyennes comprises entre 2,54 et 5,64 kg/m². Seules quelques-unes, sur les versants des Córregos Linoena et da Reserva, se situent sur des parcelles dont les stocks, faibles, appartiennent à la classe B (1,67 à 2,54 kg/m²).

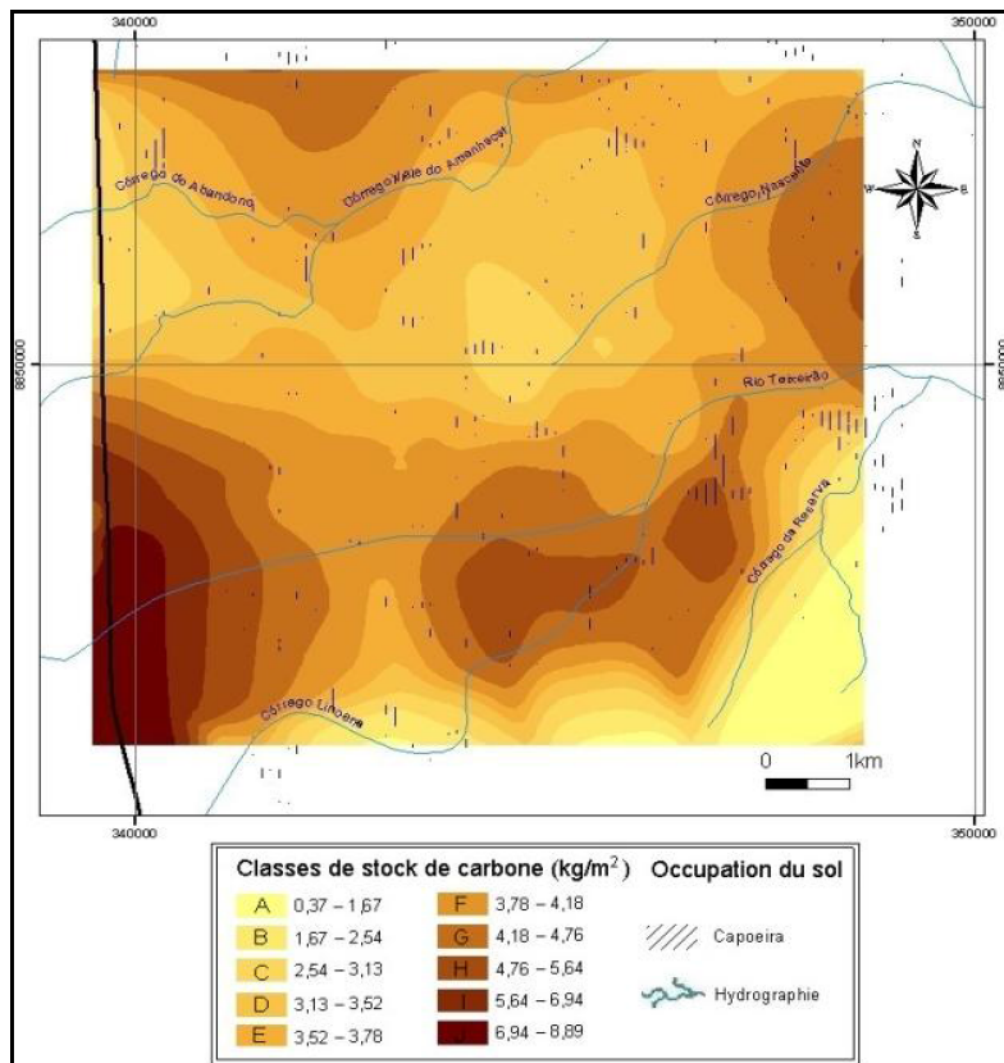


Figure 9.3 : Capoeira et stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (L.-A. Nascimento, 2015).

9.1.2.2. Les formations ouvertes

Les Pâturages

Dans les classifications de l'occupation des sols des sites d'étude, nous avons créé les classes de pâturages et pâturages avec ligneux. Cependant, dans leur cartographie sur l'Assentamento, nous n'avons retenu qu'un seul figuré, les pâturages avec ligneux étant dominants. Par ailleurs, nous n'avons pas pu appliquer les subdivisions effectuées dans le paragraphe précédent (pâturages, pâturages abandonnés, pâturages en formation) à la cartographie pour des raisons d'échelle.

Sur la figure 9.4, les pâturages avec ligneux sont très répandus. On les retrouve largement sur les interfluvies entre les córregos. Les stocks de carbone des sols sur lesquels ils se développent, appartiennent à l'ensemble des classes de A à H, c'est-à-dire de 0,37 à 5,64 kg/m². Toutefois, les valeurs appartenant aux classes A et B (< 2,54 kg/m²) ne sont que peu représentées spatialement, les classes C à G (2,54 à 4,76) correspondant aux superficies les plus importantes. Comme il a été dit dans l'analyse précédente, les pâturages correspondent à des sols ayant des stocks de carbone de valeur modérées à moyennes. La parcelle de pâturage à stock de carbone de 8,89 kg/m², et correspondant à l'outlier de la figure 9.1 est une parcelle isolée sur l'interfluve entre le Rio Teixeira et le Córrego da Reserva.

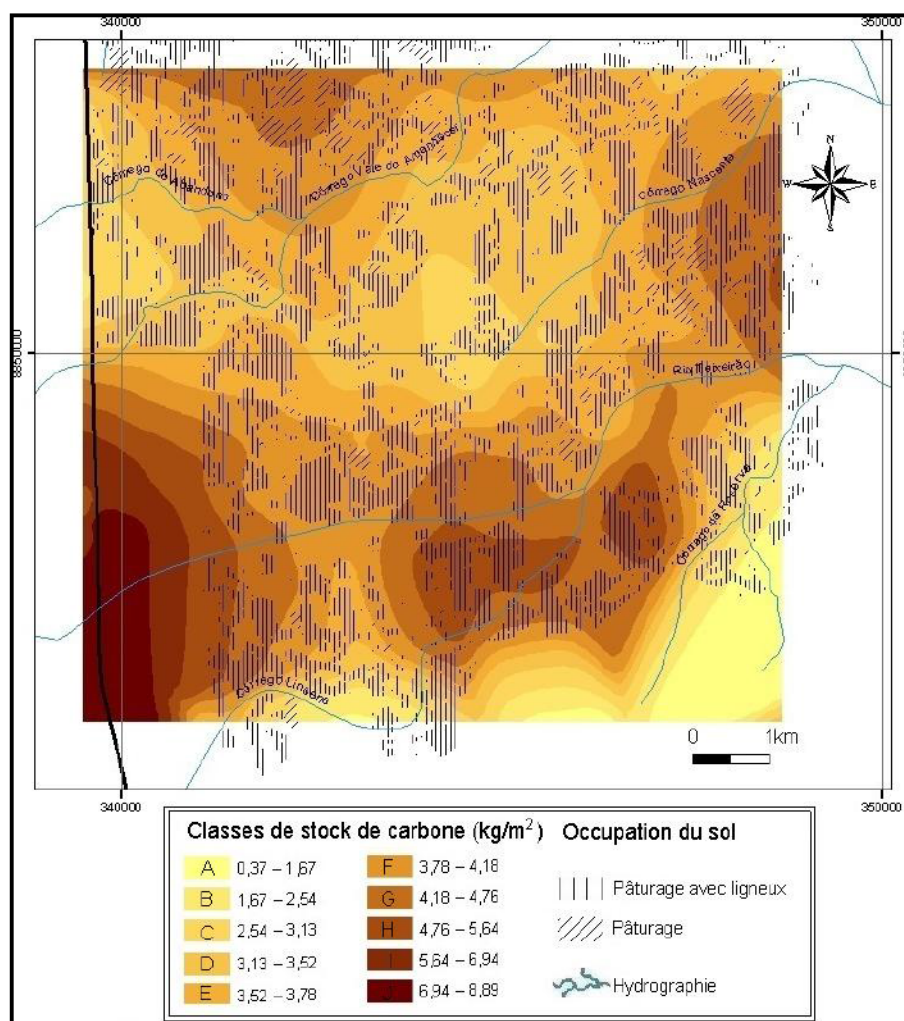


Figure 9.4. La distribution des pâturages et pâturages avec ligneux et les classes de stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (L.-A. Nascimento, 2015).

Si l'on essaie de préciser les données par rapport au projet SAF de la PETROBRAS (2010) et figurant dans le chapitre 6 (Figure 6.10) nous pouvons insister sur les données suivantes :

- en système agro-sylvo-pastoral, se caractérisant par des cultures associées à des pâturages avec ligneux, les classes de stock de carbone de ces parcelles appartiendraient aux classes E et F (3,52 à 4,18 kg/m²), soit des valeurs modérées à faibles ;
- en système sylvo-pastoral, se caractérisant strictement par un faciès de pâturages avec ligneux, les parcelles recouvrent des classes allant de C à G, soit des valeurs de stock de carbone variant de 2,54 à 4,76 kg/m².

Ces valeurs, toujours dans les catégories modérées à moyennes, quel que soit le type d'exploitation, est difficile à interpréter. En effet le nombre de parcelles agro-sylvo-pastoral est en nombre très réduit, la mise en œuvre du projet très récente.

Les sols nus

Les sols nus représentent ici des sols soit récemment déboisés, soit des pâturages en cours de restauration ou encore des parcelles cultivées. Le couvert végétal y est discontinu et ras et par conséquent cette situation peut présenter des risques d'érosion et l'apport de matière organique y est faible.

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (Figure 9.5), les sols nus occupent des surfaces éparpillées pratiquement sur l'ensemble de l'exploitation.

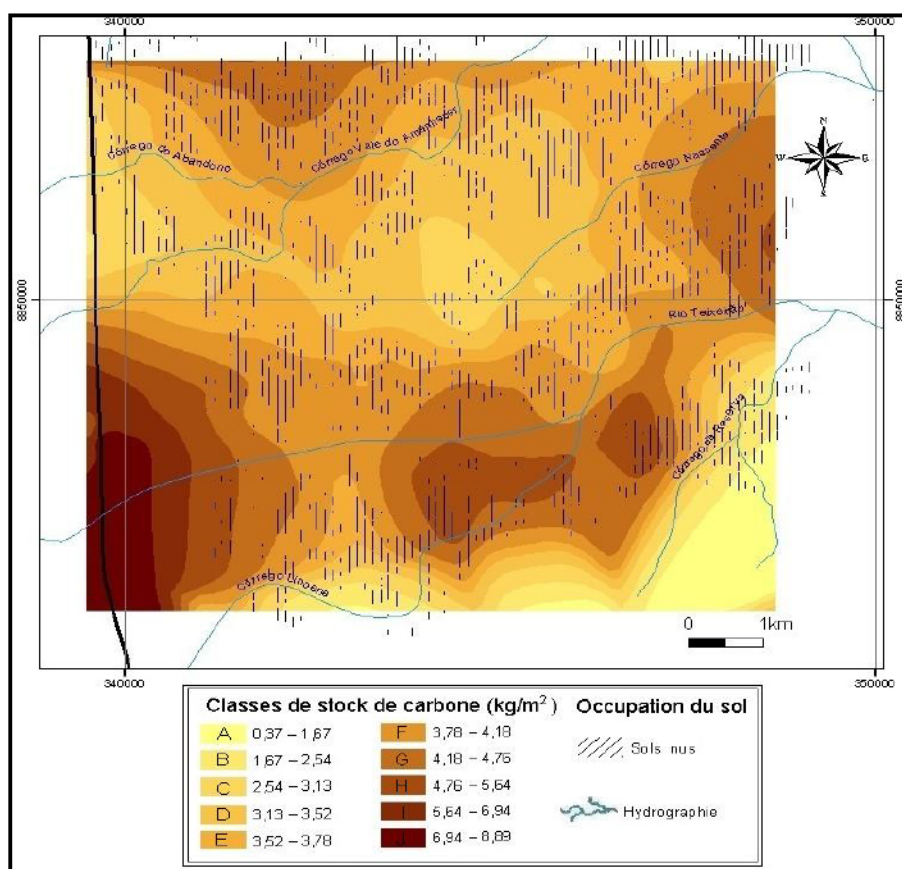


Figure 9.5. Les sols nus et les classes de stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer (L.-A. Nascimento, 2015)

La majorité de cette catégorie d'occupation des sols se situe sur les classes de stockage de valeur moyenne : les classes C à G (2,54 à 4,76 kg/m²). On trouve cependant des sols nus sur les classes inférieures comme supérieures, ces deux catégories de classe de stockage étant moins représentées.

Alors que l'on est théoriquement en condition défavorable à la présence de carbone et à son stockage dans le sol, les valeurs enregistrées couvrent des classes de valeurs majoritairement modérées à moyennes. En effet, les variations correspondent à des situations multiples. Ainsi la parcelle numéro 16, est une parcelle cultivée en café et noix de coco et possède un stock de carbone de 5,01 kg/m², correspondant à l'analyse du § 9.1. A l'opposé, sur une parcelle à proximité du Córrego Vale do Amanhecer, il a été enregistré un stock de carbone faible de 0,86 kg/m². Elle correspond à une parcelle récemment abandonnée par des garimpeiros et en cours de revégétalisation. A titre de comparaison, les valeurs obtenues, quelques dizaines de mètres plus haut sur le versant resté en pâturage, sont de 2,02 et 3,69 kg/m².

En conclusion, sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, largement occupé par des pâturages avec ligneux, les forêts et surtout les cultures ne représentent que des superficies modérées. Les valeurs de stock de carbone sous forêts peuvent être considérés comme la valeur de référence du stock susceptible d'être stocké; nous constatons qu'il y a effectivement une différence avec ceux des diverses formes d'occupation du sol, mais elle reste toujours modérée.

9.2. Stock de carbone et occupation du sol sur la Fazenda Preciosa

9.2.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol

La Fazenda Preciosa est entièrement consacrée à l'élevage et donc dans la partie exploitée de la ferme, les surfaces sont essentiellement vouées aux pâturages. Ceux-ci sont majoritairement des pâturages avec ligneux. Les plantations de Teca ont été effectuées au début des années 2000.

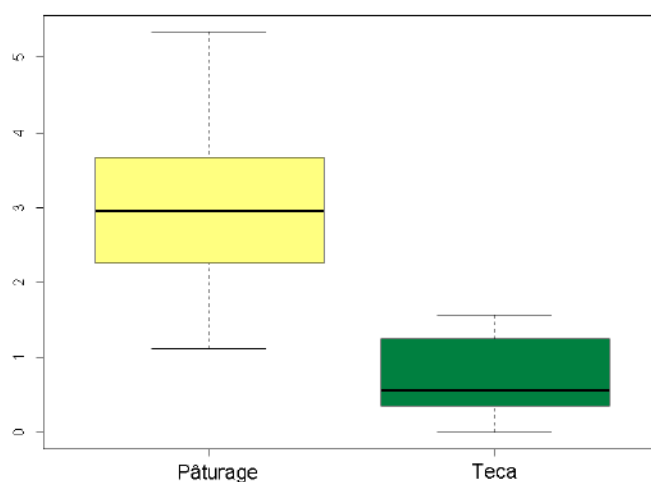


Figure 9.6. Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur la Fazenda Preciosa

La figure 9.6 met en relation les valeurs de stock de carbone et les deux thèmes de l'occupation du sol de la fazenda. Les valeurs de stock de carbone du thème « pâturage » sont comprises entre 1,12 et 5,34 kg/m². La boîte s'étend sur des valeurs entre 2,25 et 3,80 avec une symétrie de part et d'autre de la médiane située à 2,95 kg/m². De même les

moustaches sont relativement symétriques montrant une répartition homogène de l'ensemble des échantillons. L'essentiel des échantillons possèdent des valeurs à modérées.

Les valeurs de stock de carbone sous Teca s'étalent entre 0,01 et 1,56 kg/m². La boîte possède des valeurs extrêmes comprises entre 0,30 et 1,20. La médiane à 0,57 kg/m² traduit une forte dissymétrie avec un plus grand nombre d'individus dans le quartile supérieur. L'ensemble se situe dans des valeurs faibles de stockage de carbone.

De façon générale des valeurs de stock de carbone sont médiocres sur la fazenda, les parcelles occupées par la Teca étant particulièrement faibles.

9.2.2. La répartition des stocks de carbone et l'occupation du sol

9.2.2.1. Les formations forestières

Les forêts hautes et basses

Sur la Fazenda Preciosa (Figure 9.7), l'essentiel de la forêt recouvre le plateau dans la partie est de la propriété.

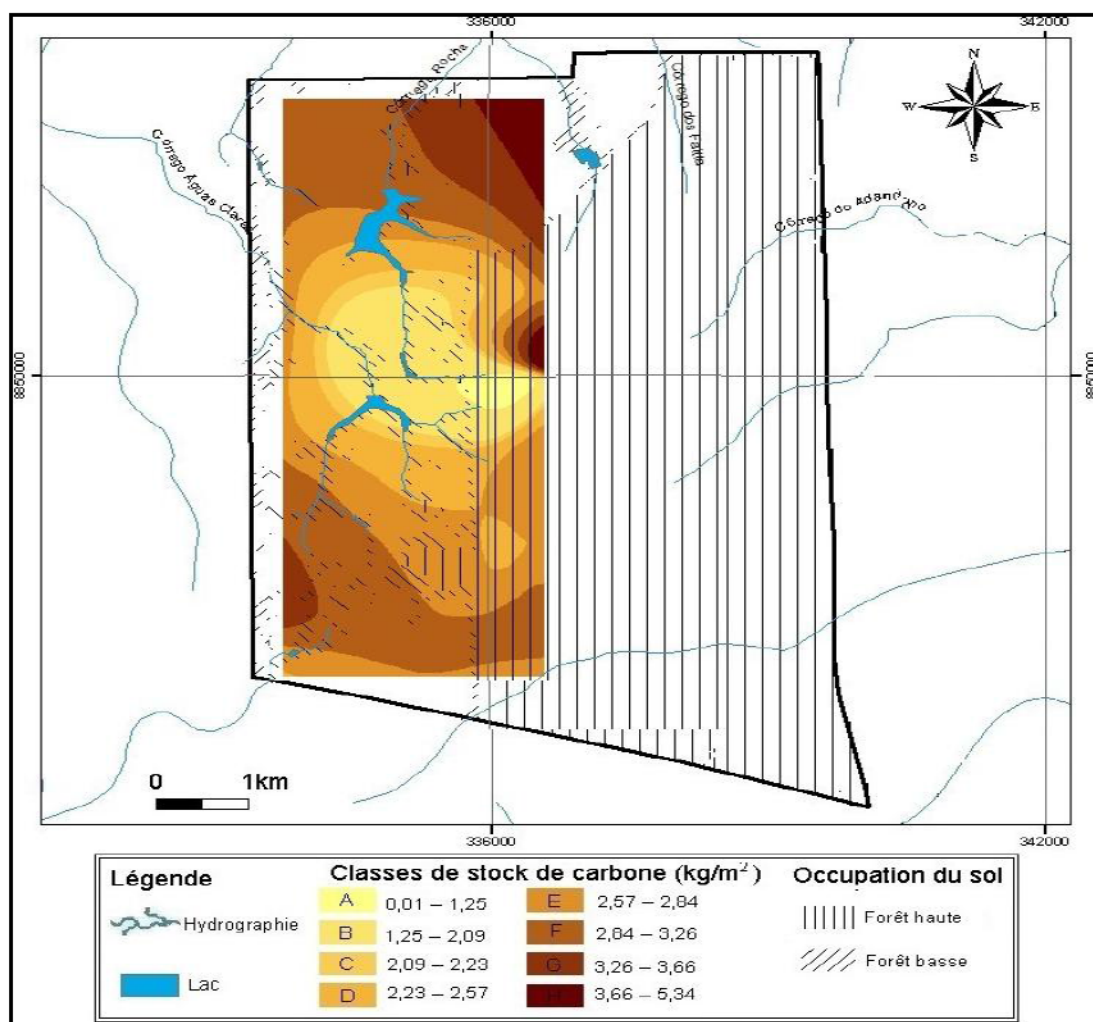


Figure 9.7. Distribution des forêts hautes et basses et des classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa (L.-A. Nascimento, 2015).

Nous avons vu que les classes de stock de carbone y sont mal définies (Chapitre 8), faute de points d'observation pour l'interpolation. Nous pouvons seulement supposer qu'elles appartiennent au moins aux classes moyennes.

En revanche, il existe quelques îlots forestiers dans la partie exploitée. Sur les versants au Sud, on trouve un lambeau de forêt sur une plage de sols dont le stock de carbone appartient à la classe G (3,26 – 3,66 kg/m²), soit une teneur modérée.

Les forêts basses, très discontinues, occupent fréquemment les fonds de vallée mais aussi des sites épars sur les versants notamment dans la partie sud-ouest. Dans les fonds de vallée elles correspondent majoritairement à des classes de stock de carbone faibles à modérées (A à E, 0,01 à 2,84 kg/m²). La forêt basse sur les versants, souvent en position de transition entre la forêt haute et les pâturages correspond généralement à des classes de stock de carbone modérée (E et G, 2,57 à 3,66 kg/m²).

Les « capoeiras »

Elles sont concentrées au Sud (Figure 9.8) et se localisent sur les sols ayant des stocks de carbone faibles à modérés (classes C à G, 2,09 à 3,66 kg/m²).

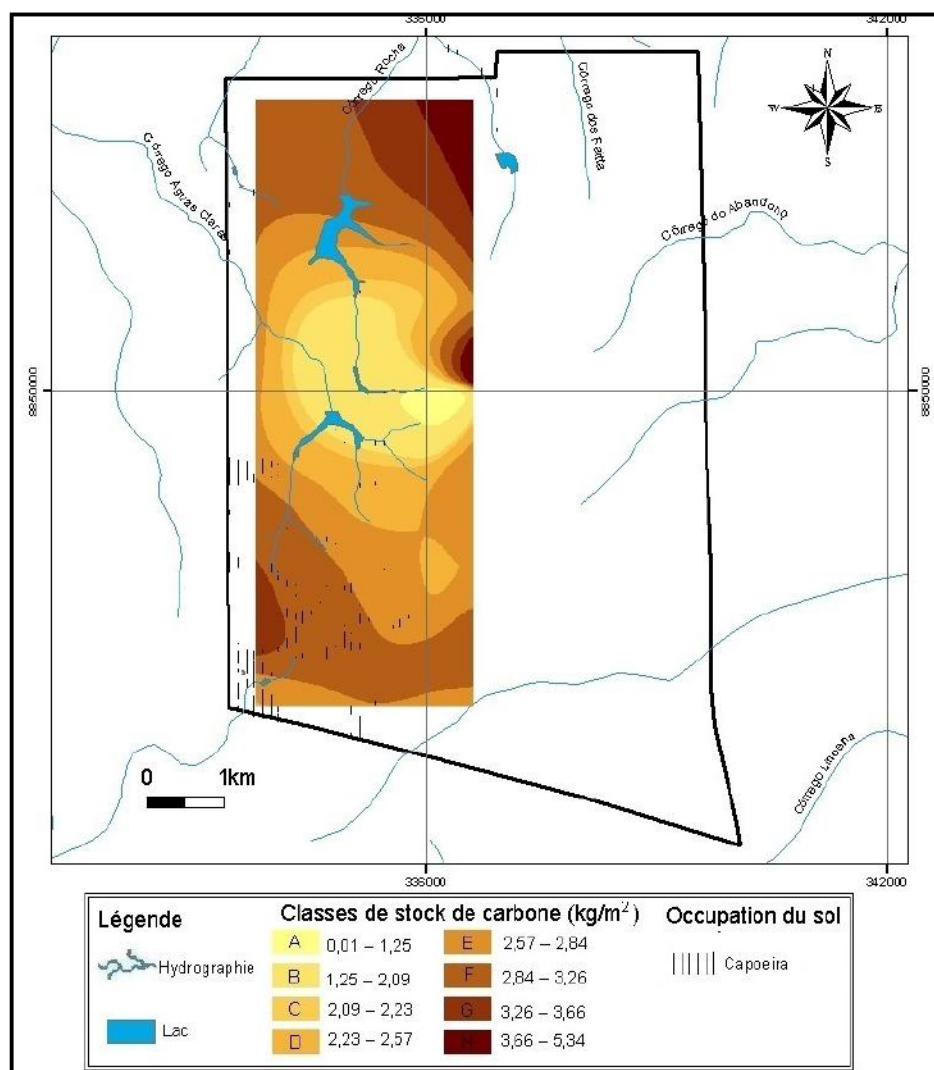


Figure 9.8. Distribution des « capoeiras » et des classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa (L.-A. Nascimento, 2015).

9.2.2.2. Les formations ouvertes

Les pâturages

La Fazenda Preciosa, ferme d'élevage de bovins, est largement couverte par de grandes surfaces de pâturage (Figure 9.9). Ce sont les pâturages avec ligneux qui dominent.

Les valeurs de stock de carbone des pâturages s'étalent sur les classes B à H (1,25 et 5,34 kg/m²). Cependant, en termes de superficie, ce sont les classes D à G (2,23 à 3,66 kg/m²) qui sont les plus représentées, ce qui est conforme à l'analyse par *box plot*.

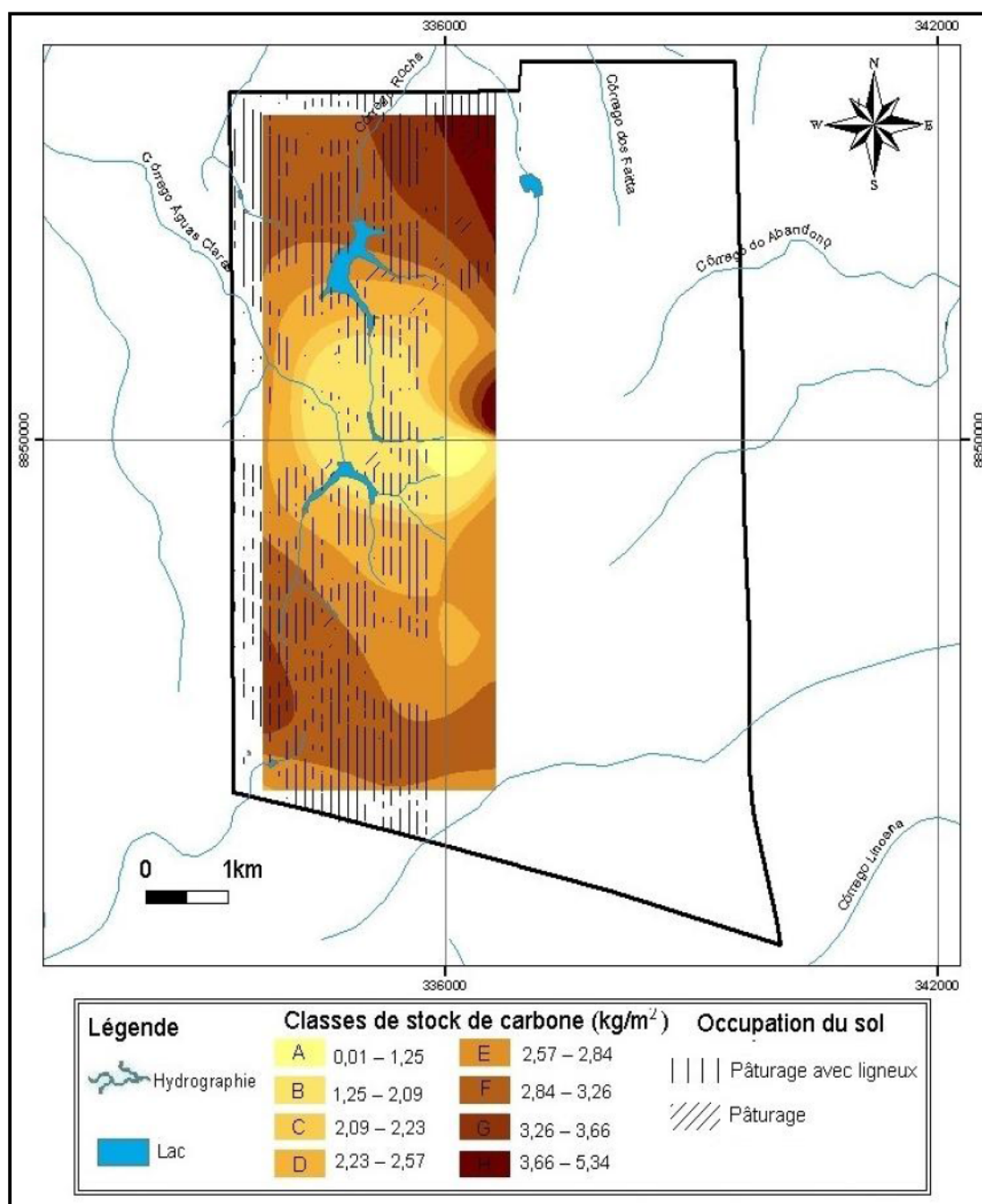


Figure 9.9. La distribution des pâturages et pâturages avec ligneux et les classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa (L.-A. Nascimento, 2015).

Les sols nus

Sur la Fazenda Preciosa (Figure 9.10), les sols nus sont présents sur une grande surface. Dispersés dans la partie sud, ils couvrent des superficies beaucoup plus importantes dans le secteur nord. Ils correspondent systématiquement à des parcelles de pâturage en voie de restauration et donc comme pour le thème « pâturages », les valeurs du stock de carbone trouvées s'étalent sur toutes les classes.

Sur une partie du secteur nord-ouest de la fazenda, représentée en sols nus, se trouvent des plantations de Teca, que le capteur du satellite identifié comme sols nus car la date de l'image correspondait à une phase végétale de la Teca où elle n'avait plus de feuilles.

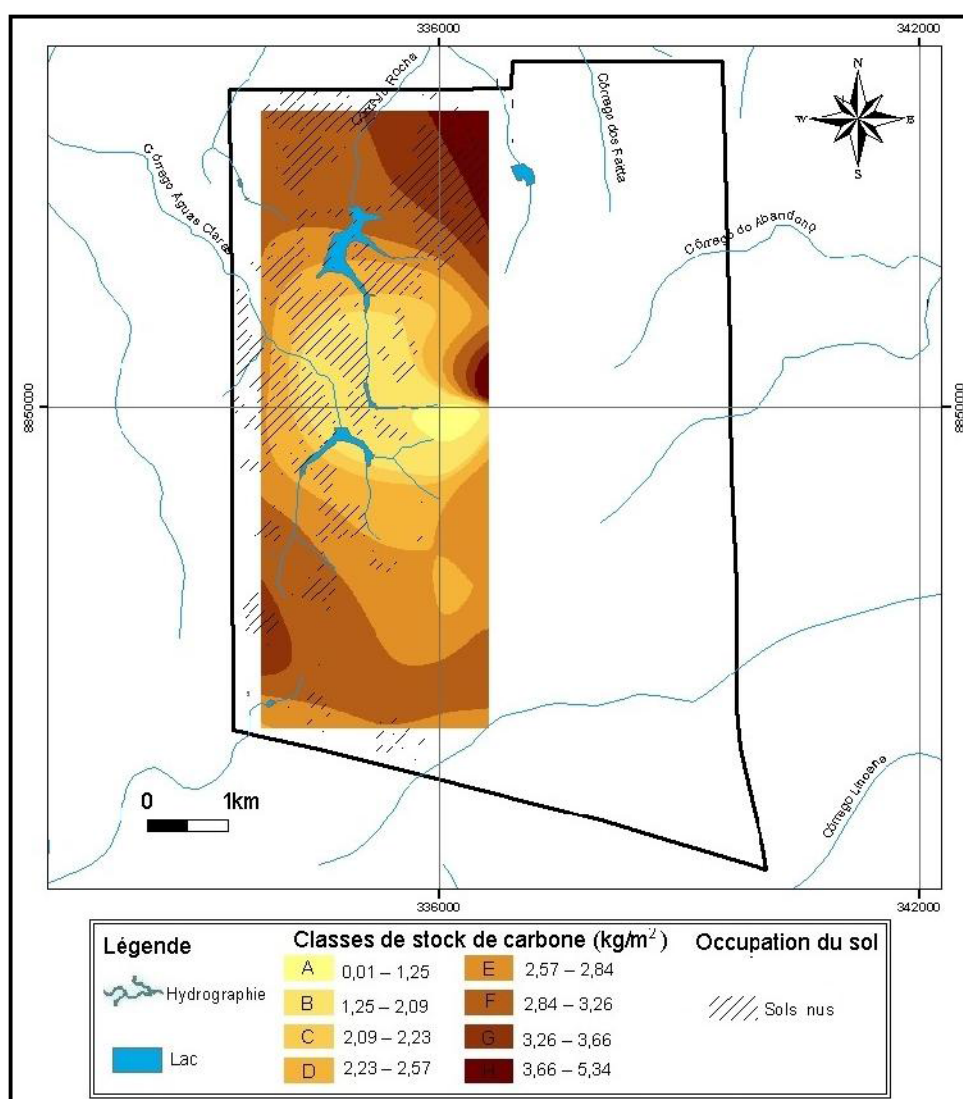


Figure 9.10. La distribution des sols nus et les classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa (L.-A. Nascimento, 2015).

En conclusion, la Fazenda Preciosa, exploitée depuis les années 70, constitue un espace entièrement artificialisé où les stocks de carbone sont faibles à modérés. On peut en conclure que l'exploitation sur une quarantaine d'année a contribué à appauvrir les sols en carbone ; toutefois la distribution des stocks initiaux ne sont pas connus et les teneurs

doivent être confrontées aux caractères texturaux des sols pour essayer de discriminer la part de l'un et l'autre facteur.

9.3. Stock de carbone et occupation du sol sur la Fazenda São Nicolau

Sur la Fazenda São Nicolau, les formations forestières sont dominantes et constituées en très grande partie par des replantations (2^{ème} partie, Chapitre 6, § 6.2, Figure 6.8). Notre analyse est ici fondée sur la distinction entre les différentes espèces et formations. Nous avons repris le même classement d'espèces que précédemment, c'est-à-dire les espèces exotiques, les espèces exotiques associées à des espèces brésiliennes, les espèces amazoniennes, les espèces amazoniennes associées aux espèces brésiliennes et des espèces brésiliennes.

9.3.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol

Sur la figure 9.11, la relation entre les valeurs de stock de carbone et les différentes espèces replantées ainsi que les forêts basses et les pâturages est représentée. Les valeurs de stock de carbone s'étalent entre environ 0,04 et 4,90 kg/m², seules deux valeurs supérieures représentées par des *outliers* dépassent 5 kg/m² (5,23 pour l'association Teca / Freijó et 5,36 pour celle de Babaçu et Escova de Macaco).

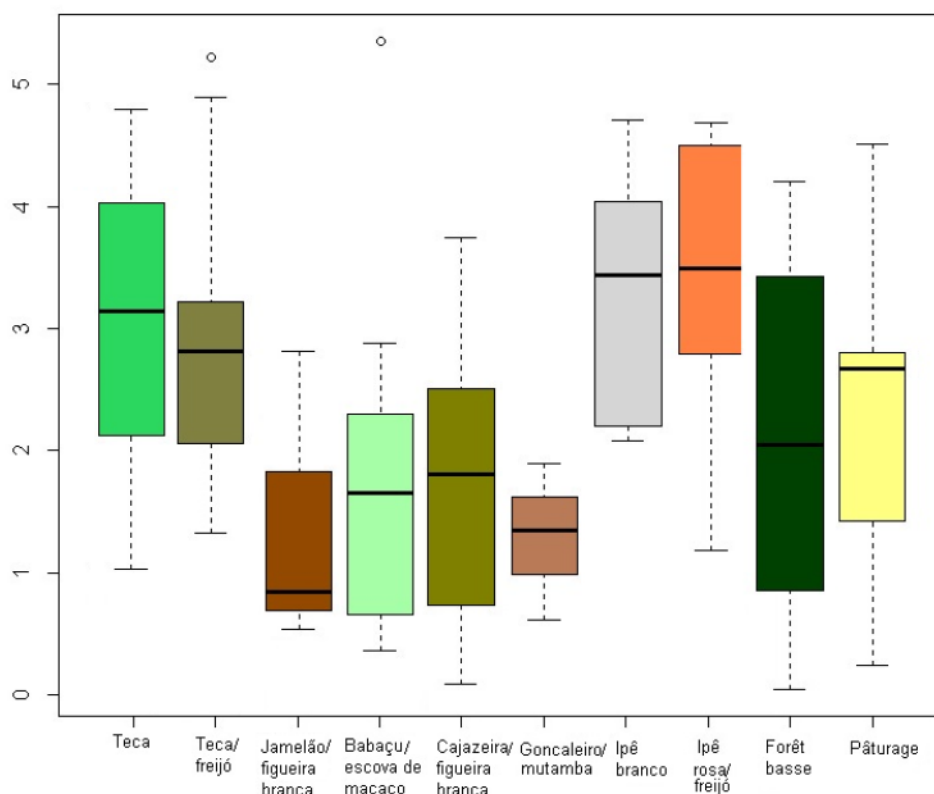


Figure 9.11. Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur la Fazenda São Nicolau

Sur la figure 9.11, nous observons l'existence de quatre groupes d'espèces ou formations ayant des relations semblables avec les valeurs de stock de carbone, même si ces valeurs sont toujours dispersées.

Le premier groupe est constitué de l'espèce Teca et de Teca et Freijó, soit une espèce exotique associée ou non à une espèce brésilienne. Les valeurs de la médiane de la boîte est respectivement de 3,14 et de 2,81 kg/m², pour Teca la médiane est bien centrée, tandis que pour Teca et Freijó elle est dissymétrique et les valeurs les plus représentées sont sur le quartile inférieur. Pour l'un et l'autre cas, les moustaches indiquent une dispersion élevée des valeurs de carbone.

Le second groupe est constitué d'associations diverses : d'une espèce exotique et d'une espèce brésilienne (Jamelão et Figueira branca), d'espèces amazoniennes (Babaçu et Escova de macaco), d'espèces amazoniennes et brésiennes (Cajazeira et Figueira branca) ou brésiennes seules (Gonçaleiro et Mutamba). Les valeurs de médiane des quatre boîtes sont faibles (0,84 à 1,81 kg/m²). Les médianes sont dissymétriques, notamment dans le cas de l'association Jamelão et Figueira branca où les valeurs sont particulièrement représentées dans le quartile supérieur. La médiane des deux boîtes suivantes montre une forte représentation des valeurs dans le quartile inférieur. La dispersion des valeurs est particulièrement élevée comme en témoignent les moustaches dans le cas de l'association Cajazeira et Figueira branca (0,09 à 3,75 kg/m²). Enfin, l'association Gonçaleiro et Mutamba présente une forte concentration de valeurs, une médiane centrée ; mais le faible nombre d'échantillons explique sans doute cela.

Les espèces brésiennes, l'Ipê branco et l'association Ipê rosa et Freijó, sont caractérisées par une même médiane (3,44 et 3,49 kg/m²). Les différences sont la dissymétrie et la dispersion des valeurs.

Les forêts basses et les pâturages constituent le dernier groupe avec des valeurs très dispersées, respectivement de 0,04 à 4,21 et 0,24 à 4,51 kg/m². Les médianes de l'une et l'autre formation sont de 2,05 et 2,67, soit des valeurs faibles.

D'après la figure 9.11, la Teca seule ou en association sont relativement favorable au stockage du carbone contrairement aux espèces locales. Les deux espèces brésiennes qui pourraient s'avérer intéressantes sont les deux Ipês, seuls ou en association, si un nombre plus grand d'échantillons étaient analysés (ici, ils sont représentés par 15 échantillons). L'hétérogénéité des valeurs de stock sous forêts basses tend à montrer la diversité initiale des stocks de carbone avant toute exploitation et les pâturages, avec des valeurs diversifiées, peuvent témoigner à la fois des stocks initiaux comme d'une modification de ceux-ci.

9.3.2. La répartition des stocks de carbone et l'occupation du sol

9.3.2.1 Les formations forestières

Les forêts hautes et basses

Sur la Fazenda São Nicolau (Figure 9.12), l'extension de la forêt haute naturelle est réduite à son pourtour sauf à l'Est en bordure du Rio Juruena où on la trouve en association avec la forêt basse et correspond à aux classes D à F (2,01 à 3,70) soit des valeurs faibles à modérées.

Dans le détail, sous forêt haute, à la limite de la zone mise en valeur, on note un stock de carbone appartenant à la classe F (3,05 à 3,70 kg/m²), soit en conditions naturelles un stock de carbone modéré. Dans la partie est, en bordure du Rio Juruena, elle se développe sur des sols dont les stocks de carbone sont modérés avec leur appartenance à la classe E (2,49 à 3,05 kg/m²). La forêt haute, dans les vallons des Córregos das Pastagens et

da Fazenda généralement associée à la forêt basse en position résiduelle, correspond aux classes de carbone faibles à modérées, D à E (2,01 à 3,05 kg/m²).

Nous observons (Figure 9.12) que la forêt basse est présente sur la bordure nord-ouest de la fazenda à proximité des sources du Córrego da Fazenda. Dans ce secteur, les stocks de carbone appartiennent aux classes de stock modéré E et F (2,49 à 3,70 kg/m²).

Ce n'est qu'au Sud-est, en bordure du Juruena qu'on la trouve développée sur des sols dont les stocks de carbone sont modérés à moyens (F à H, 3,05 à 5,36 kg/m²).

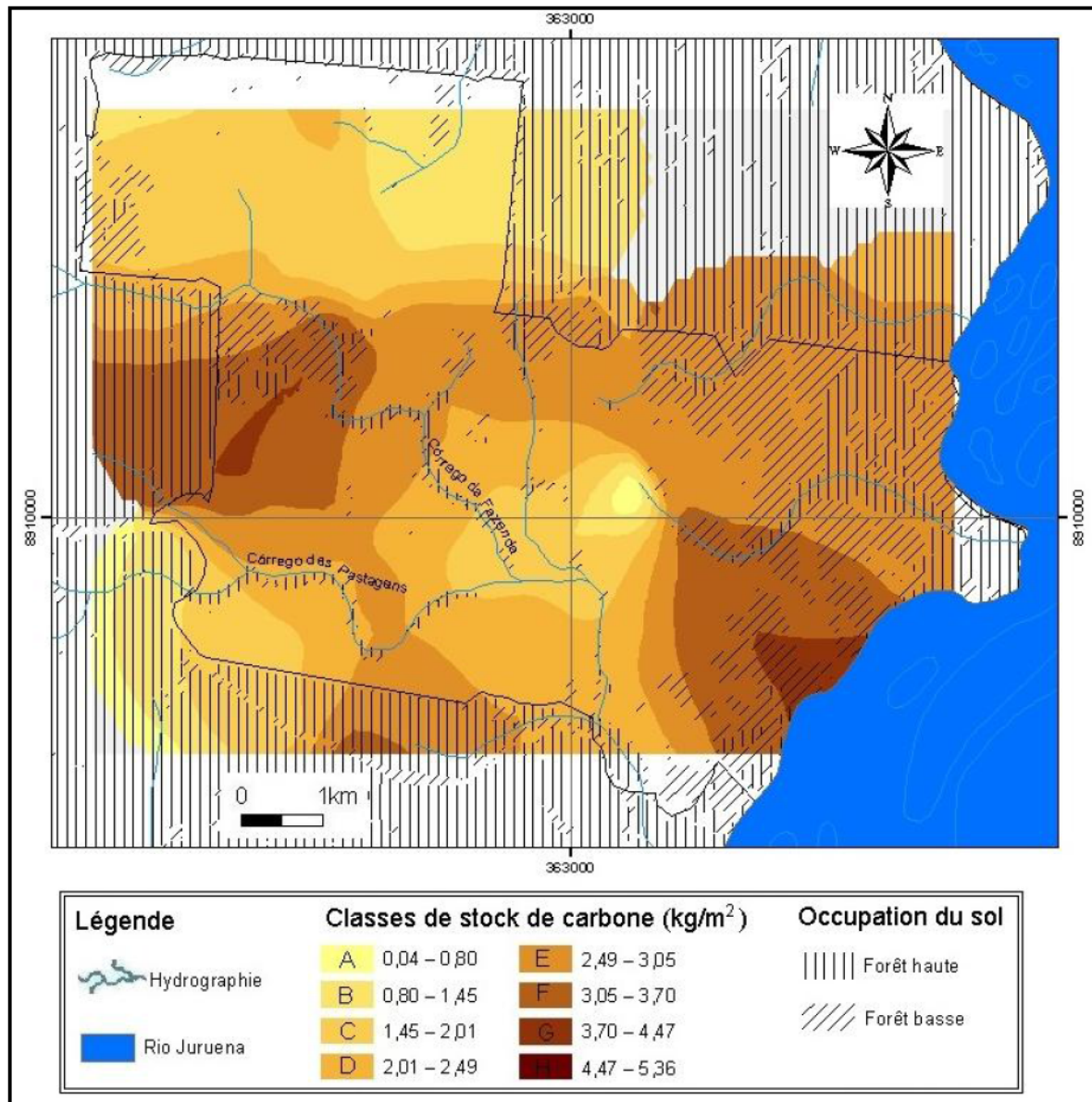


Figure 9.12. Distribution des forêts hautes et basses et des classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau. (L.-A. Nascimento, 2015).

Les « capoeiras »

Sur la Fazenda São Nicolau, la « capoeira » la plus étendue se situe au Nord-ouest sur un interfluve (Figure 9.13), sur des sols ayant un stock de carbone homogène, dans la catégorie des faibles teneurs, la classe D (2,01 à 2,49 kg/m²). De petites parcelles de

« capoeiras », peu nombreuses, se retrouvent sur le reste de la fazenda. Elles correspondent à des sols dont le stock de carbone appartient essentiellement à la classe F (3,05 à 3,70 kg/m²).

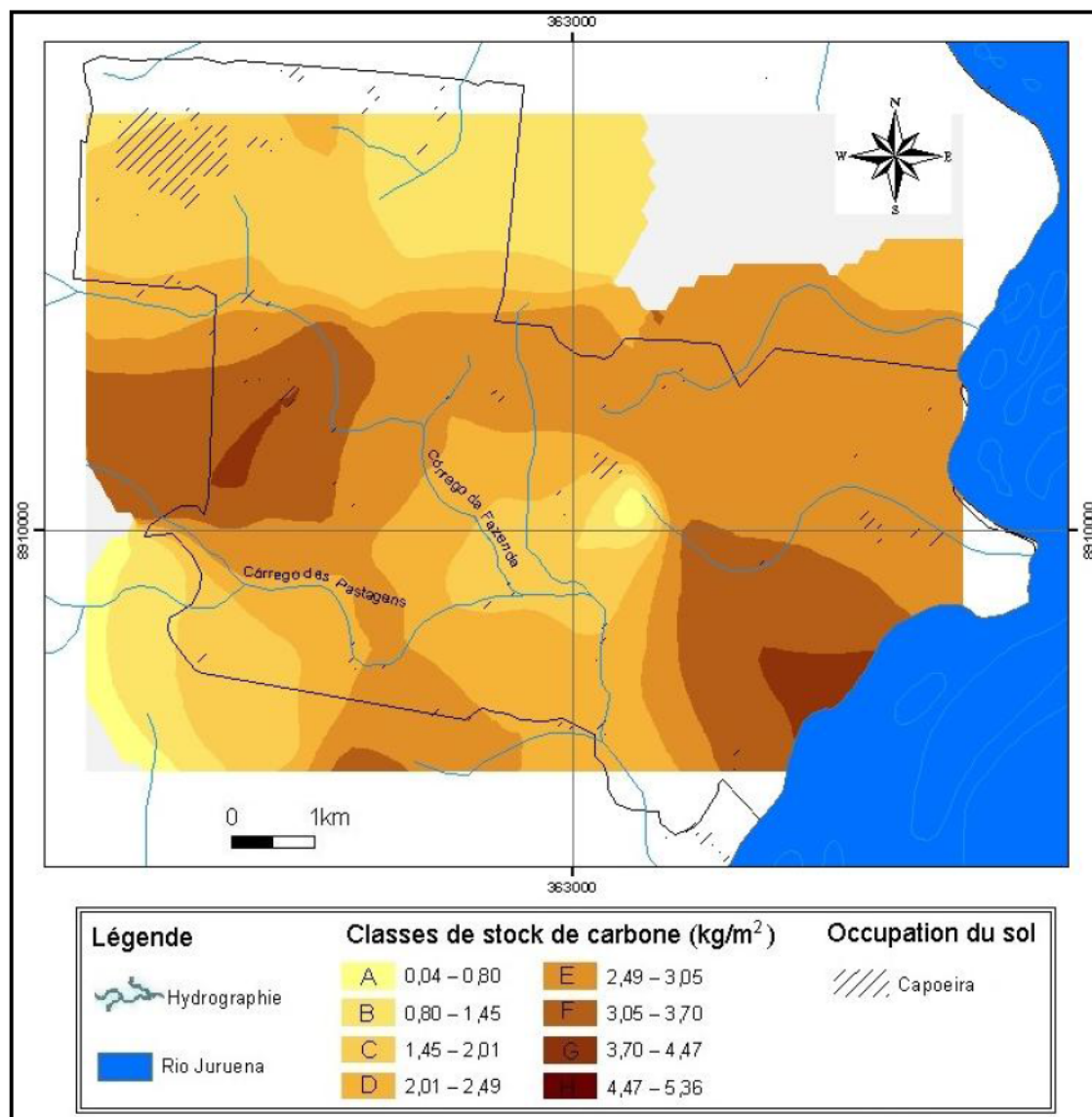


Figure 9.13. Distribution des « capoeiras » et des classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau. (L.-A. Nascimento, 2015).

La reforestation sur la Fazenda São Nicolau

La reforestation sur les terres de la Fazenda São Nicolau a eu lieu entre 1999 et 2003, sur les versants comme les fonds de vallée. Elle représente l'essentiel de l'occupation du sol (Figure 9.14) avec la plantation de plus de 50 espèces.

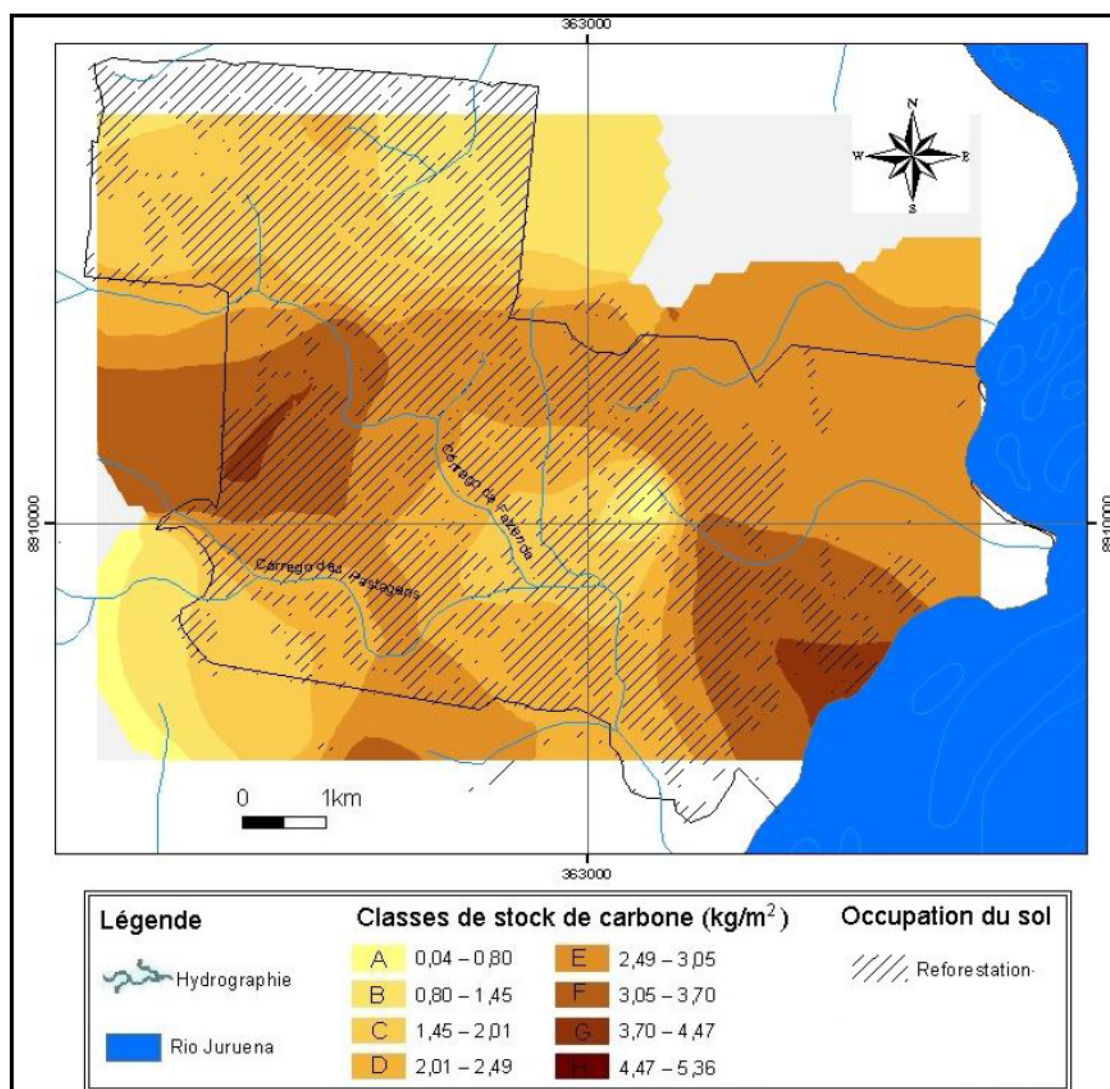


Figure 9.14. La reforestation et les classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau (L.-A. Nascimento, 2015).

Les valeurs de stock de carbone trouvées sur les parcelles reforestées de la fazenda appartiennent à l'ensemble des classes. Si l'on examine les valeurs de stock de carbone en fonction des espèces implantées les plus représentées (Figure 9.15), on peut voir quelques différenciations. Les espèces les mieux adaptées se sont révélées être les associations avec Freijó.

Sur les parcelles reboisées en espèces exotiques par la Teca (Figure 9.6), les valeurs de stock de carbone que nous avons obtenues varient entre 2,01 et 5,36 kg/m² avec une moyenne des valeurs brutes calculées sur les prélèvements de 2,79 et une médiane de 2,59. Sur les parcelles reboisées en un mélange d'espèces exotiques et d'espèces brésiliennes ou amazoniennes, les parcelles de Teca et Freijó, possèdent des valeurs variant largement sur les classes C à H entre 1,45 à 5,36 kg/m² (classes faibles à moyennes). La moyenne des valeurs brutes est de 2,83 et la médiane de 2,81. Sur les parcelles de Jamelão et Figueira branca, les stocks que nous avons enregistrés varient de 1,79 à 3,87 kg/m² avec une moyenne de 2,45 et une médiane de 2,32.

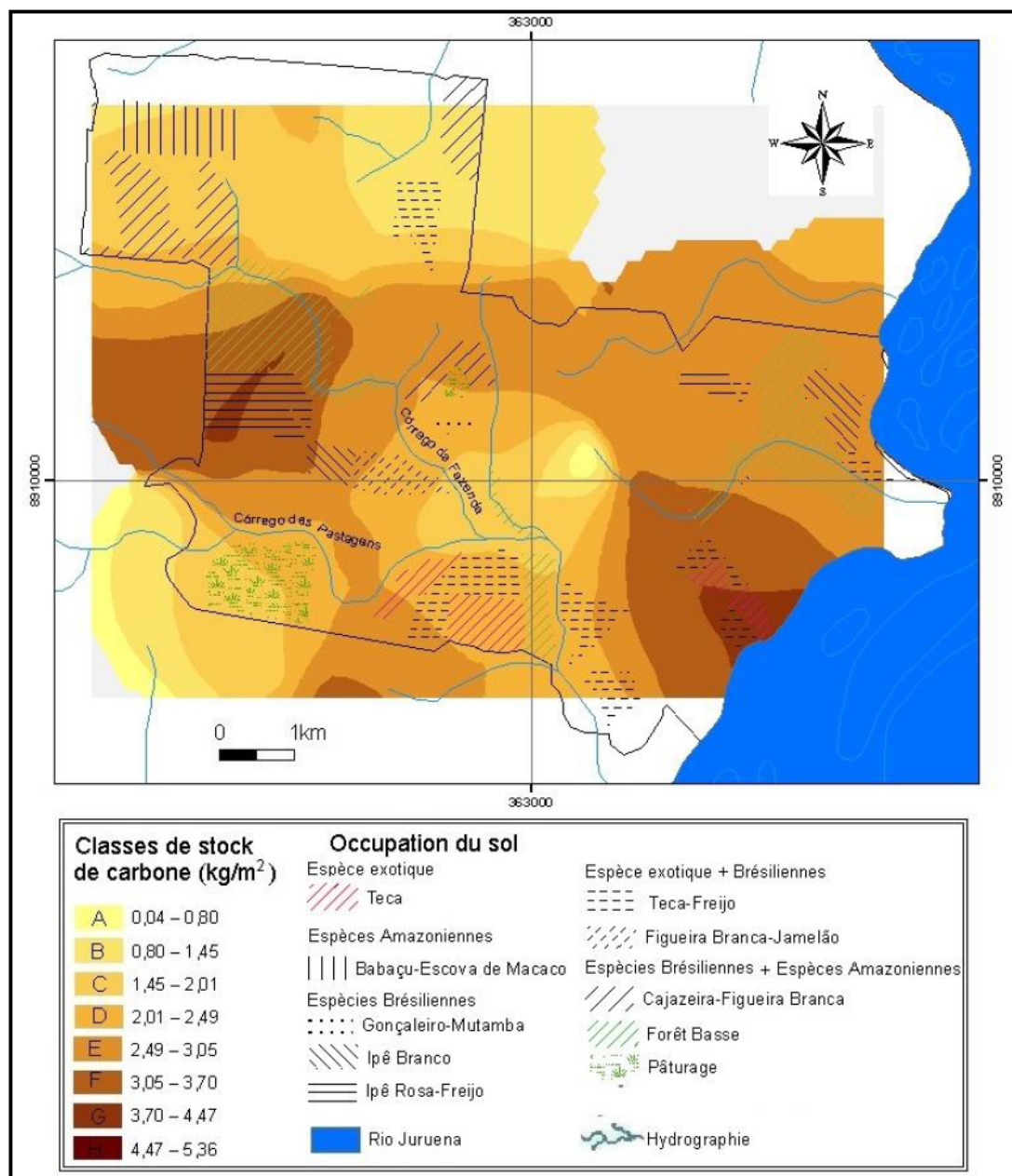


Figure 9.15. Les principales espèces et associations d'espèces implantées sur la Fazenda São Nicolau et les rapports avec les stocks de carbone (L.-A. Nascimento, 2015).

Les trois parcelles implantées en Escova de Macaco et Babaçu (espèces amazoniennes) montrent des stocks de carbone appartenant aux classes C et D (faibles stocks) variant entre 1,45 et 2,49 kg/m², la moyenne des valeurs brutes est de 1,93 et la médiane de 1,69 kg/m².

Les parcelles implantées en espèces brésiliennes appartiennent à deux classes de stock de carbone de la catégorie faible à modéré, les classes D et E (2,01 à 3,05 kg/m²). Les stocks de carbone sur parcelles implantées en Cajazeira et Figueira branca (espèces brésilienne et amazonienne) présentent des valeurs appartenant aux classes D et E, comprises entre 2,01 et 3,05 kg/m².

Il ressort de ceci que les espèces utilisées pour le reboisement sont très dispersées et indépendantes de tout choix stratégique. Les parcelles reboisées possèdent des valeurs

stocks de carbone très diversifiées, mais globalement faibles à moyenne. On observe sur la figure 9.15, que les parcelles où est présent le Freijó en association avec une autre espèce, possèdent une meilleure teneur de carbone. Par ailleurs, les résultats obtenus ne permettent pas de discriminer une espèce vraiment plus favorable au stockage. Par ailleurs les parcelles en Tecas offrent des résultats très diversifiés mais pouvant contenir des valeurs de stock de carbone moyen.

Ces résultats peuvent être comparés à ceux de Verneyre (2007) sur cette fazenda. Cette auteure a trouvée des valeurs légèrement supérieures à partir d'une cinquantaine d'échantillons mesurés : sur les parcelles de Teca, les teneurs varient entre 4,06 et 5,24 kg/m² et sur une plantation de Cajazeira – Figueira branca, elles sont comprises entre 4,06 et 5,24 kg/m². Enfin, elle enregistre sous les plantations de l'Ipê une valeur entre 4,27 et 4,67 kg/m² de stock de carbone. Moreira (2010) a travaillé également sur la fazenda et n'a mesuré que les quantités de carbone organique sur les parcelles reboisées et les pâturages. Sur les parcelles reboisées en Ipê branco, elle a trouvé des valeurs entre 20,3 et 24,0 g.kg⁻¹, valeurs supérieures à nos données. En revanche le carbone organique mesuré par cet auteur sur une parcelle de Teca comme sur une autre d'Ipê – Freijó, est particulièrement faible puisqu'il se situe entre 5,0 et 6,0 g.kg⁻¹.

En comparaison les résultats que nous avons obtenus sont du même ordre de grandeur que ceux de ces auteurs, toutefois les valeurs des nôtres sont légèrement inférieures.

9.3.2.2. Les formations ouvertes

Sur la Fazenda São Nicolau, les formations ouvertes occupent des superficies modestes (Figure 9.16).

Les pâturages

Contrairement aux deux autres exploitations, les pâturages sont ici sans ligneux. Ils sont concentrés au Sud-ouest de la fazenda. Les valeurs de stock de carbone trouvées sont de l'ordre de 0,24 à 4,51 kg/m². La teneur la plus élevée a été enregistrée dans la partie centrale de la fazenda, entre l'interfluve des Córregos das Pastagens et de la fazenda.

Les sols nus

Ils constituent de petites surfaces allongées et ils sont épars sur la ferme. La majorité correspond en fait à des pistes d'exploitation et d'accès aux parcelles reboisées. Dans le secteur Sud-est, on trouve la piste d'atterrissage des avions. De même au Sud-ouest, on distingue la voie d'accès aux bâtiments de la fazenda, en provenance de la route d'État MT-208. Le nombre de parcelles agricoles occupées par des sols nus est extrêmement limité et se localise sur des sols dont le stock de carbone varie de 0,73 à 4,87 kg/m².

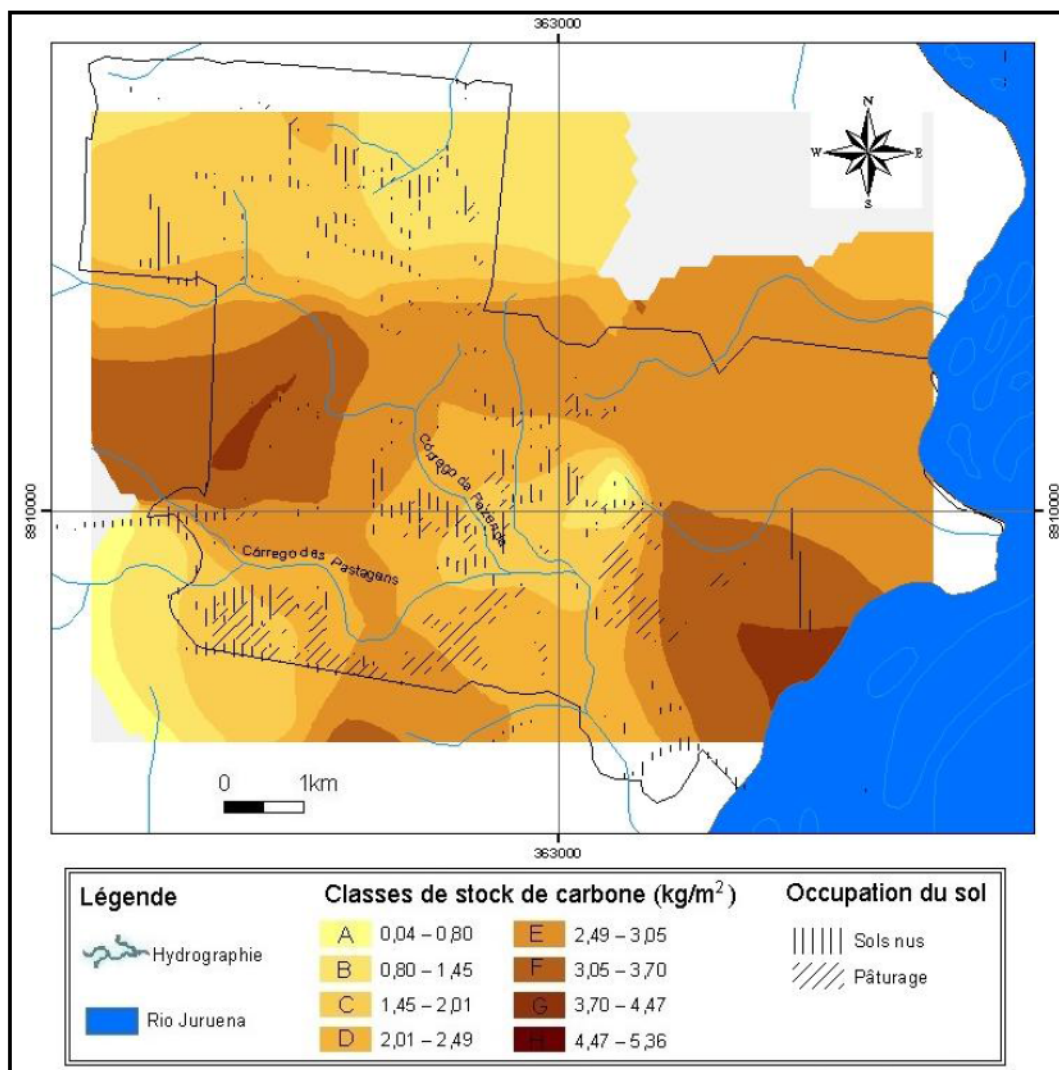


Figure 9.16. La distribution des formations basses et des classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau (L.-A. Nascimento, 2015).

En conclusion, sur la Fazenda São Nicolau, caractérisée par des reboisements récents avec des espèces locales, régionales ou exotiques, possède des stocks de carbone généralement faibles à modérés. Les stocks de carbone de la forêt basse peuvent servir de référence, mais nous constatons une grande diversité des valeurs de stock. Il en résulte que l'ensemble des formations secondaires, qu'il s'agisse des plantations ou des pâturages, se situent elles-aussi sur des sols dont les stocks de carbone sont hétérogènes. Toutefois, on note que certaines espèces, comme la Teca, le Freijó ou les Ipês peuvent présenter des stocks particulièrement intéressants, surtout par rapport au contexte local.

Conclusion du chapitre 9

Quelle que soit l'exploitation étudiée, il est difficile de voir des corrélations fortes entre les différents types d'occupation du sol et les stocks de carbone alors que ces derniers différencient clairement deux groupes, les Fazendas Preciosa et São Nicolau d'une part avec des stocks faibles à modérés et l'assentamento d'autre part avec des stocks modérés à moyen. Ce n'est que sur ce dernier que l'on peut identifier une diminution légère des stocks de carbone avec la transformation des forêts en pâturages avec ligneux. Sur la Fazenda Preciosa, plus de 30 ans d'utilisation identique des sols a contribué à créer des conditions défavorables au stockage du carbone. Sur la Fazenda São Nicolau, une dégradation des stocks de carbone ne peut être vraiment mise en évidence, mais il semblerait qu'un certain nombre d'espèces implantées aient plutôt un rôle positif.

Les valeurs de stock de carbone trouvées pour les forêts hautes et basses des trois sites s'étalent sur l'ensemble des classes sur les Fazenda Preciosa, São Nicolau mais c'est la classe de stockage E qui est la plus fréquemment associée à la forêt haute. Sur l'assentamento, elle est le plus fréquemment associée aux classes moyennes à élevées (F à J). Les valeurs correspondant aux forêts basses sont globalement plus faibles. Toutes ces valeurs de stock de carbone sont faibles si on les compare à des valeurs trouvées par les chercheurs qui ont travaillé dans les régions tropicales. Nous pouvons citer tout d'abord Machado (2005) qui a mesuré une valeur de $17,1 \text{ kg/m}^2$ dans une forêt basse de l'Amazonie. Néanmoins certains auteurs avancent des valeurs plus faibles comme Nogueira (2013) avec $11,10 \text{ kg/m}^2$, résultat obtenu dans une forêt préservée de l'Amazonie ou encore Fidalgo *et al.* (2007) qui obtiennent une valeur de $8,01 \text{ kg/m}^2$. De son côté, Castro (2008) qui a mené une étude sous forêt sur Fazenda São Nicolau, donne des valeurs de teneur en carbone organique, proche des nôtres avec $22,12 \text{ g kg}^{-1}$ et $27,62 \text{ g kg}^{-1}$. Rappelons que si les valeurs maximales en carbone organique que nous avons trouvé sur la Fazenda São Nicolau ne sont que de 16 g kg^{-1} , sur l'assentamento ils sont très fréquemment supérieurs à 20 g kg^{-1} .

Sous capoeiras, les valeurs enregistrées par les auteurs qui ont travaillé dans la région amazonienne, sont généralement supérieures aux nôtres. Ainsi, Trindade *et al.* (2006) donnent une teneur de $13,63 \text{ t/ha}$ dans une « capoeira » de 15 ans d'âge, au Sud de l'État du Pará. Brienza Junior (1999) a trouvé, au Sud de la ville de Manaus (AM), une valeur de 48 t/ha dans une « capoeira » de 12 ans d'âge. Enfin, Pereira (2001), à Paragominas (PA), a enregistré une teneur de 90 t/ha dans une « capoeira » enrichie.

Sur deux des sites étudiés, les pâturages représentent l'essentiel du mode d'occupation des sols, conformément aux données du Programme TerraClass 2012 de l'INPE et de l'EMBRAPA, qui estiment à 66 % les surfaces déboisées de l'Amazonie transformées en pâturages. Selon Fearnside et Barbosa (1998), les pâturages peuvent permettre le stockage de taux satisfaisants de carbone dans le sol s'ils sont bien gérés ou au contraire émettre du carbone dans l'atmosphère s'il y a une mauvaise gestion. En revanche, ils soulignent que la conversion de la forêt amazonienne en pâturages engendre des émissions de CO_2 vers l'atmosphère (environ 100 à 200 t ha^{-1} de carbone) en relation avec le déboisement par brûlis.

Les valeurs obtenues sur les pâturages des trois sites d'étude sont hétérogènes. Toutefois, bien que certaines valeurs soient plus faibles, elles restent conformes aux études préalablement menées par Verneyre (2007) et Moreira (2010) sur la Fazenda São Nicolau. La première a enregistré des valeurs de stockage de carbone entre $4,72$ et $5,57 \text{ kg/m}^2$, la

seconde des valeurs de carbone organique de $14,9 \text{ g kg}^{-1}$, valeurs de carbone organique qui sont du même ordre de grandeur que celles que nous avons-nous-même enregistré (ch. 7, § 7.2.2, tableau 7.5). En revanche, les valeurs obtenues ici sont inférieures à celles présentées par d'autres chercheurs qui ont travaillé en Amazonie. C'est le cas de Costa *et al.* (2009) qui ont mesuré dans un pâturage bien géré une valeur de $14,68 \text{ t ha}^{-1}$ ou Resck *et al.* (2008) qui ont enregistré une teneur de 64 t ha^{-1} . Rosa *et al.* (2014) ont obtenu une valeur de stock de carbone de $68,28 \text{ t ha}^{-1}$ pour un pâturage bien géré et $59,35 \text{ t ha}^{-1}$ pour un pâturage dégradé.

Resck *et al.* (2008) ont démontré que dans la région amazonienne il y a augmentation du stock de carbone dans les sols des pâturages bien gérés en fonction du temps de conservation des litières de matière organique. Des accumulations de carbone de l'ordre $2,7$ à $6,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ont été reconnus aux pâturages bien gérés (Bernoux *et al.* 2005 ; Cerri *et al.* 1996). Cerri *et al.* (2006), en analysant dans la littérature les teneurs en carbone, démontrent qu'approximativement deux tiers des pâturages analysés en Amazonie connaissent une augmentation du stock de carbone dans le sol en relation avec la végétation native. Cela conforte certains de nos résultats selon lesquels des pâturages avec ligneux, s'ils sont correctement gérés, peuvent concentrer des stocks de carbone non négligeables. C'est le cas de la parcelle 155 de l'assentamento, qui est occupée par un pâturage avec ligneux et possède le stock de carbone le plus élevé des sites étudiés ($8,89 \text{ kg/m}^2$). Toutefois nous constatons que sur la Fazenda São Nicolau, c'est sous une couverture d'espèces exotiques (la Teca) que les stocks de carbone sont les plus satisfaisants, et qu'au contraire, sous espèces locales les stocks sont médiocres.

Selon Fidalgo *et al.* (2007), dans l'écosystème sous-bois comme les pâturages avec ligneux, les racines mortes sont la principale source de carbone dans le sol. Ainsi, l'utilisation des graminées engendre une grande capacité d'augmentation du stock de carbone et notamment dans les horizons supérieurs (Paustian *et al.* 2000). Une biomasse élevée et une absence du labour du sol sont les principales raisons pour obtenir un stock élevé de carbone dans le sol.

La présence des Sols nus est fortement décriée pour leur rôle négatif par rapport dans l'équilibre d'un milieu. Ici nous avons pu voir qu'il n'y a aucune corrélation entre les stocks de carbone et les sols nus. Cela peut s'expliquer par l'usage qu'en font les acteurs de ces exploitations. Ils peuvent être liés à des aménagements permanents (routes, bâtiments) comme sur les Fazendas São Nicolau ou Preciosa. Mais en dehors de ces secteurs, le sol nu est une étape de transition courte avec d'autres modes d'exploitation, et ce n'est que sur l'Assentamento Vale do Amanhecer qu'ils peuvent rester plusieurs années en cultures.

Synthèse et discussion de la partie 3

Dans cette partie nous avons pu constater une diversité des formations pédologiques avec comme paramètre discriminant la texture. Une analyse des stocks de carbone et une classification hiérarchique des valeurs de stockage de carbone en 10 classes ont montré que les Fazendas Preciosa et São Nicolau sont nettement moins bien pourvues que l'Assentamento Vale do Amanhecer. La corrélation des stockages de carbone avec la texture a confirmé le lien entre abondance d'argile et de carbone dans le sol. Comme l'ont écrit de nombreux auteurs (Fearnside et Barbosa, 1998 ; Lal *et al.* 2004 ; Castro *et al.* 2008 ; Resk *et al.* 2008, entre autres), la texture argileuse est une variable essentielle dans la production et le stockage du carbone. Cela s'explique par le fait qu'elle contrôle directement de nombreux paramètres comme la circulation de l'eau et de l'air dans le sol, le potentiel de fixation de nutriments, entre autres. Les débris végétaux y trouvent donc des conditions plus ou moins favorables à leur décomposition et leur minéralisation, donc à la production et conservation du carbone. L'argile est un élément essentiel dans le processus par ses capacités d'agrégation, de fixation de l'eau, de la matière organique décomposée comme des cations échangeables. Si la matière organique est logiquement reliée au carbone, cette variable joue un rôle d'autant plus élevé qu'il y a de l'argile, car elle se fixe sur ces particules. Enfin, il est à noter que les sols étudiés ici appartiennent à des environnements géochimiques alumino-silicatés où les argiles d'altération appartiennent à la catégorie des argiles de faible activité (type kaolinite) limitant les potentialités d'échanges cationiques. Par conséquent, les terrains étudiés ne sont pas favorables à des stocks de carbone particulièrement élevés. Pour comprendre finement la répartition des stocks de carbone, il serait par ailleurs nécessaire de mieux connaître les unités morpho-pédologiques de chaque unité d'exploitation.

Les différentes occupations et gestions des sols sont connues pour avoir une influence sur les stocks de carbone (Bruce *et al.* 1999 ; Fidalgo *et al.* 2007). Nous avons donc croisé l'occupation du sol et les valeurs de stock de carbone. Les corrélations entre les valeurs de stock de carbone et leur répartition d'une part, et la distribution des différents thèmes d'occupation du sol d'autre part se sont révélées quelque peu décevantes pour deux raisons essentielles : le mode de cartographie et les méthodes d'utilisation des sols des acteurs fondées sur un même type d'intervention (par exemple, le « tout pâturage » pendant plus de 30 ans sur la Fazenda Preciosa ou encore le reboisement systématique de la Fazenda São Nicolau sans tenir compte des exigences des espèces implantées). En croisant sur un même tableau, et pour chaque exploitation, les données d'occupation du sol, les textures et les classes de stockage de carbone, nous tentons de mieux comprendre ces relations. Les classes de stockage de carbone de A à C sont considérées comme faibles ($< 2,43 \text{ kg/m}^2$), de D à F de teneurs modérées ($2,48 \text{ à } 3,87 \text{ kg/m}^2$), G et H de teneurs moyennes ($3,87 \text{ à } 5,64$) et enfin I et J de teneurs élevées ($> 5,69 \text{ kg/m}^2$).

Sur l'Assentamento Vale do Amanhecer, les thèmes d'occupation des sols sont les forêts, « capoeiras », cultures et pâturages, les plus représentés (Tableau 9.1). Les forêts se situent sur les classes texturales allant des sables argileux aux argiles lourdes. Les classes de stockage de carbone sont exceptionnellement faibles (2 parcelles classées B sur sables argileux), 6 parcelles appartiennent à la catégorie des classes à teneurs modérées (E et F). Enfin, les classes à teneurs en stockage moyennes à élevées sont dominantes sur les sols allant des argiles sableuses aux argiles lourdes.

Tableau 9.1. Correspondance entre les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer

Occupation du sol Textures	Forêt (21)	Capoeira (12)	Culture (3)	Pâturage (87)									
Sables (C)		D E G	C H	A C D E F H J									
Sables limoneux (B)		D		E I									
Sables argilo-limoneux (G)	F			C F H I									
Sables argileux (A)	B I	B G		B C D E F G									
Argiles sableuses (D)	H I	B		B D E F G H I J									
Argiles sablo-limoneuses (I)	F G H	B		C F G H									
Argiles limono-sableuses (F)	J	G J		E F G H J									
Argiles (E)	E G I			C F G H I									
Argiles lourdes (H)	J I												

Classes de stockage de carbone (kg/m²)

A 0 – 0,72	C 0,36 – 2,43	E 2,80 – 4,05	G 3,88 – 4,87	I 5,69 – 6,29
B 0,72 – 1,60	D 2,48 – 3,17	F 2,79 – 3,87	H 4,86 – 5,56	J 6,97 – 8,89

*Les valeurs entre parenthèses correspondent aux nombres d'échantillons par type d'occupation de sol.

Les capoeiras se répartissent sur les sols allant des sables aux argiles limono-sableuses. Les classes de stock de carbone peuvent être faibles sur les sables argileux, les argiles sableuses et sablo-limoneuses. Sur les sables et les sables limoneux, les classes de stockage appartiennent majoritairement à la catégorie à teneur modérée. Les classes à teneur moyennes et élevées se situent essentiellement sur argiles limono-sableuses.

Les cultures n'étant représentées que par trois échantillons leur représentativité est limitée. Sur sables, les teneurs de stockage de carbone sont hétérogènes (faibles et moyennes).

Les pâturages sont les plus représentés sur l'assentamento (87 échantillons) et se répartissent sur l'ensemble des classes texturales à l'exception des argiles lourdes. Plus les textures sont sableuses, plus les classes de stockages correspondantes sont de teneurs faibles. Inversement plus les argiles sont abondantes, plus les classes de stockage élevées sont présentes.

Sur la Fazenda Preciosa, l'occupation du sol est dominée par les pâturages et les repeuplements de Teca (Tableau 9.2).

Tableau 9.2. Correspondance les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol de la Fazenda Preciosa

Occupation du sol Textures	Pâturages (39)							Teca (6)	
Sables (C)	D			E		G		B	
Sables limoneux (B)	C			D	D			A	B
Sables argileux (A)	B	C	D	E	F	G	H	A	
Sables argilo- limoneux (G)	B		C			D			
Argiles sableuses (D)	C			E			G	A	
Argiles limono- sableuses (F)									
Argiles (E)	E		D			H			

Classes de stockage de carbone (kg/m²)

A	0 – 0,72	C	0,36 – 2,43	E	2,80 – 4,05	G	3,88 – 4,87
B	0,72 – 1,60	D	2,48 – 3,17	F	2,79 – 3,87	H	4,86 – 5,56

Sous les pâturages on trouve des textures sur 6 classes, dont quatre classes à dominante sableuse. Les classes de stockage de carbone appartiennent aux valeurs faibles à modérées (B, C, D, E et F). On note l'appartenance à des classes moyennes de quelques parcelles. De façon générale, la corrélation, occupation du sol, texture, classe de stockage est très médiocre. Les parcelles de Teca toujours sur des sables et des sables limoneux sont particulièrement pauvres en carbone.

Sur la Fazenda São Nicolau (Tableau 9.3), on a six classes de texture.

Tableau 9.3. Correspondance les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol de la Fazenda São Nicolau

Occupation du sol Texture	Forêt (9)				Pâturages (9)		Gonçaleiro & Mutamba (3)			Babaçu & Escova de Macaco (9)		Ipê Branco (9)		Ipê Rosa & Freijo (6)			Cajazeira & Figueira Branca (20)				Teca (12)			Teca & Freijo (24)					Jamelão & Figueira Branca (3)	
Sables (C)	A	B	D	E	A	B	A	B	C	A	B	D	G			B		B	D	E	B	D	E	G	H					
Sables limoneux (B)										B						B	C	E	G			B	C	D	E					
Sables argileux (A)	C				D					C	D	H			D	A				B	C	D	E	G	C	D	F	A	D	
Sables argilo- limoneux (G)					B	D	E	G				A	C	C	E				C		E		D							
Argiles sableuses (D)												C	F				A	C	E	G			D	E	H					
Argiles limono- sableuses (F)																														
Argiles (E)	G											F	G	D	F	G	A	B	C	D									B	

Classes de stockage de carbone (kg/m²)

A	0 – 0,72	C	0,36 – 2,43	E	2,80 – 4,05	G	3,88 – 4,87
B	0,72 – 1,60	D	2,48 – 3,17	F	2,79 – 3,87	H	4,86 – 5,56

Sous forêt, sur sables et sables argileux, les classes de stockage appartiennent à des catégories faibles à modérées. Sur argiles, elle appartient à la catégorie de stockage moyen. Les pâturages sont sur des sols à texture sableuse, sablo-argileuse et sablo-argilo-limoneuse. Globalement, les catégories de stockage sont les mêmes que précédemment, seule une parcelle sur sables argilo-limoneux possède un stockage de carbone appartenant à la catégorie moyenne.

Les plantations présentent une plus grande diversité de cas. Parmi les espèces brésiliennes, le Gonçalves et la Mutamba sont sur des sables avec des valeurs de stockage faibles. L'Ipê branco sur des classes texturales plus variées (sables, sables argilo-limoneux, argiles sableuses et argiles) possède des stocks couvrant les classes C à G, c'est-à-dire des valeurs faibles à moyennes ; il est difficile de voir une relation directe avec la texture. L'Ipê rosa et le Freijó se localisent sur des sables argileux et des argiles et le stock de carbone est modéré à moyen (D, F et G). Ici, la relation texture / teneur en carbone / espèces végétales semblent cohérents.

Le Babaçu et l'Escova de macaco (espèces amazoniennes) se situent sur sols à dominante sableuse, avec des classes de stockage de carbone appartenant essentiellement aux valeurs faibles (A, B C). Une seule parcelle appartient à la catégorie H sur sables argileux. Globalement, cette espèce sur sols à dominante sableuse possède des valeurs faibles.

La Cajazeira et la Figueira Branca (association d'une espèce amazonienne et d'une espèce brésilienne), sur des sols diversifiés (sables, sables limoneux et sables argileux, argiles sableuses et argiles) possèdent des valeurs de stockage de carbone faibles à modérées.

La Teca et l'association de Teca et de Freijó sont localisés sur les mêmes types de sols avec des textures allant des sables aux argiles sableuses. Sous Teca, les valeurs de stockage de carbone sont faibles à moyennes (B à G) ; les plus élevées sont sur les sables limoneux, sables limoneux et les argiles sableuses (trois échantillons sur douze). Sous Teca et Freijó, on a le plus grand nombre d'échantillons (24) et des classes de stockage allant de B à H. Les teneurs les plus élevées sont sur sables et argiles sableuses. Si les textures sont homogènes pour ces deux catégories d'implantation, en revanche la relation entre les trois variables est médiocre.

Sous Jamelão et Figueira branca, dans des sols sablo-argileux et argileux, les valeurs de stockage sont très faibles. Le faible nombre d'échantillons ne permet une corrélation entre les trois variables.

Nous pouvons constater que les meilleures corrélations entre texture et stockage de carbone se font sur l'Assentamento, quel que soit l'occupation du sol. Sur les trois sites étudiés, aucun mode d'occupation du sol n'est associé à une catégorie précise de texture et ces deux variables prises ensemble ne semblent avoir une influence radicale sur les stocks de carbone. Par ailleurs aucun mode d'occupation ne semble vraiment défavorable et aucun ne semble particulièrement favorable. En effet, de nombreux autres facteurs peuvent intervenir dont nous n'avons pu tenir compte dans ce chapitre. Ce sont les pratiques culturelles et leur historique qui selon nous, peuvent expliquer ces résultats nuancés. Ainsi, si les pâturages ont été décriés par un certain nombre de chercheurs (par exemple Fearnside et Barbosa, 2008), il semble qu'après la phase de déforestation à effet négatif sur le bilan carbone, les stocks de carbone dans le sol ne baissent pas mais ils sont vraisemblablement dépendants de l'état initial du stockage avant la mise en valeur agricole, c'est-à-dire de la répartition des unités morpho-pédologiques conditionnant celle du fond de carbone initial. De même, les « sols nus » dont les faciès sont divers, sont fréquemment des stades de

transition entre deux types d'occupation ou une phase de restauration des pâturages. Là aussi intervient donc l'influence des modes d'occupation précédents.

Le processus de reforestation mené sur la Fazenda São Nicolau depuis maintenant une douzaine d'année est marqué par une relative stabilité des stocks de carbone depuis les premières études effectuées sur la fazenda (Verneyre, 2007 ; Castro, 2008 ; Moreira, 2010). Les stocks sous reboisement sont peu différents et aussi diversifiés que sous les autres modes d'occupation du sol. Par ailleurs, les types d'espèces employées pour le reboisement semblent peu influencer sur le stockage, si ce n'est légère supériorité des reboisements de Teca et de Teca et Freijós. Ces stockages sous reboisement dépendent certainement entre autres du stock initial qui est en partie lié à la texture.

Si dans le chapitre 8, le rôle de la texture est évident, l'approche spatiale s'est avérée délicate, en effet la cartographie des stocks de carbone a été faite par interpolation entre les points d'information, alors que la connaissance spatiale des textures est issue d'une cartographie raisonnée faisant intervenir des paramètres de l'environnement physique des points échantillonnés.

Conclusion Générale

Le développement de l'agriculture a entraîné la diminution des stocks de carbone dans le sol. Dans la plupart des sols cultivés, cela a conduit à une réduction de la productivité des terres en relation avec leur appauvrissement. De nombreuses études montrent qu'il est possible d'inverser cette tendance à condition que les pratiques agricoles évoluent.

Le Protocole de Kyoto et les aides en faveur des politiques mises en place pour favoriser le stockage du carbone dans les sols sont de bonnes opportunités pour le faire. Selon la FAO (2002), les sols pourraient stocker environ 20 Pg de carbone en 25 ans, soit plus de 10 % des émissions mondiales. En même temps, cela offre d'une part, des possibilités d'amélioration de la qualité des sols et de la production agricole, et d'autre part, une protection de l'environnement accrue, comme la prévention de l'érosion et la conservation de la biodiversité. Cela implique le développement d'une utilisation du sol et de pratiques de gestion du sol spécifiques. Ainsi, certaines priorités comme l'agroforesterie ont été définies et des mesures ont été recommandées afin de protéger les sols, notamment ceux cultivés de façon permanente, comme c'est le cas au Brésil dans la majorité des propriétés agricoles (FAO, 2002). L'agroforesterie aide à la conservation de la biomasse qui possède un fort potentiel de fixation du dioxyde de carbone de l'atmosphère et contribue à fournir le sol en carbone via la matière organique. Ceci souligne l'importance de préserver l'écosystème forestier afin que certaines forêts deviennent des puits de carbone et non pas des « sources » de carbone pour l'atmosphère. L'agroforesterie peut être une solution possible pour maintenir un stock de carbone et conserver les activités économiques principalement des petites propriétés comme il est prévu dans les projets REDD.

Dans le cadre du mécanisme de REDD et de trois projets locaux liés au stockage du carbone (projet « puits de carbone », projet « Petra » et projet « puits de carbone Jurueña »), nous avons abordé les relations entre différents types d'occupation du sol et les stocks de carbone mesurés dans les sols. Ces travaux ont permis de préciser la variété des pratiques de gestion des terres sur les sites étudiés, de confronter les teneurs de carbone stocké dans les sols de chaque ferme à l'occupation et aux caractéristiques des sols.

Les trois exploitations étudiées, quoique situées dans un environnement homogène (climat, végétation naturelle), possèdent chacune une forte originalité mise en évidence au moyen des images satellites et de campagnes de terrain. Même si elles ont un certain nombre de thèmes d'occupation du sol en commun comme les pâturages, forêts, « capoeiras », entre autres, leur mode de fonctionnement et leurs évolutions sont différents. Ainsi, la Fazenda São Nicolau, après plusieurs phases de défrichement ayant duré une vingtaine d'années et permis le développement de pâturages et de forêts basses, a opté pour une politique de reforestation dans le cadre d'un projet « puits de carbone » lors du rachat par un groupe industriel. En revanche, la Fazenda Preciosa, tout en maintenant une réserve forestière, a toujours été une ferme d'élevage depuis sa création avant les années 80, favorisant de ce fait les pâturages. L'Assentamento Vale do Amanhecer est une création récente (1999) avec une obligation de réserve forestière et un espace exploité, morcelé entre 250 propriétaires. L'occupation des sols y est dominée par les pâturages avec ligneux. Depuis 10 ans, l'adhésion d'un certain nombre d'assentados au projet SAF commence à changer la physionomie de l'assentamento. La gestion des sols est donc différente d'une exploitation à l'autre, même si elles se situent dans un même contexte pédologique.

En effet, les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols interviennent dans les potentialités de fixation de carbone dans les sols (Szákacs, 2003; Blanchart et

Bernoux, 2005; Rita, 2007; Hickmann et Costa, 2012; Morais *et al.* 2013). Les données obtenues à partir des résultats analytiques sur plus de deux cents échantillons de sols ont permis de préciser les caractéristiques des 30 cm supérieurs sur les trois unités agricoles. Le paramètre textural est ce qui les différencie. En effectuant une classification sur les fractions granulométriques et une cartographie, nous avons ainsi pu montrer que l'Assentamento Vale do Amanhecer possède des sols mieux pourvus en argiles que les Fazendas Preciosa et São Nicolau, toutes les deux plus riches en sables

Dans les sols des trois exploitations, qui se caractérisent par des pH faibles et des taux de saturation globalement inférieurs à 50 %, la matière organique et le carbone sont inégalement abondants. Une ACP effectuée sur les différents paramètres physico-chimiques et géochimiques du sol a montré le comportement indépendant de la matière organique et du carbone et donc des corrélations avec les différentes variables plus ou moins élevées. Une classification hiérarchique ascendante a de ce fait été effectuée sur les valeurs de carbone et celles de stock de carbone. Elle a ainsi permis d'établir 10 classes de stockage de carbone, des plus faibles aux plus élevées qui ont été confrontées aux autres paramètres du sol à l'aide d'une ACP. Celle-ci a mis en évidence la forte corrélation avec les textures de sol, notamment celle entre les classes de stockage de carbone élevées et les teneurs en argile. Une cartographie des stocks de carbone a montré que l'Assentamento Vale do Amanhecer offre un bilan de carbone plus favorable que les deux autres exploitations.

Dans l'ensemble des trois exploitations, nous pouvons observer que les taux de stock de carbone en relation avec les différents types de végétation ou d'occupation du sol ne présentent pas de relations évidentes. Ce n'est que sous forêts naturelles que l'on remarque des corrélations satisfaisantes. Toutefois il faut insister sur le fait que les stocks de carbone y sont parfois médiocres. Sous pâturages, les stocks de carbone sont très diversifiés et ce n'est que sur l'Assentamento Vale do Amanhecer que l'on peut trouver un lien fréquent entre stock de carbone / texture / occupation du sol. La corrélation imparfaite entre ces différentes variables peut s'expliquer par le morcellement des parcelles dont l'identification s'est faite par télédétection en vue de l'échantillonnage alors que la cartographie des stocks a été faite par interpolation. Sur la Fazenda Preciosa, après plus de 30 ans d'élevage bovin et d'installation des pâturages, les valeurs de stocks de carbone sont très diversifiées, mais dans l'ensemble assez médiocres. Sous les reboisements de São Nicolau, les stocks varient de 0,9 à 5,36 kg/m². En confrontant les différentes espèces d'arbres implantés aux valeurs de stock de carbone, il ressort que ce sont sur les parcelles de Tepas et de Tepas associés au Freijó que les résultats sont les meilleurs. Quant aux sols nus, plus développés sur l'assentamento, leurs valeurs de stock de carbone ne se différencient pas de celles sous d'autres formes d'occupation du sol liées aux activités humaines, avec environ 1 à 4,87 kg/m². Comme nous l'avons évoqué plus haut, cela est peut être lié au caractère temporaire de ce type d'occupation.

La dynamique d'occupation des sols peut expliquer, en grande partie les résultats quelque peu décevants que nous avons obtenus en confrontant stocks de carbone et l'occupation du sol issue de l'activité humaine. En comparant les 6 images de 1987 à 2011, les modes et rythmes d'exploitation des sites étudiés ont été cependant différents.

Sur l'assentamento, après l'attribution des parcelles aux agriculteurs en 1999, le défrichement a immédiatement commencé avec une réduction de 35,3% de la surface forestière en 10 ans. Le mode d'exploitation est resté traditionnel et ce n'est que depuis le milieu des années 2000 qu'environ 25 % des assentados ont adhéré aux SAFs et changé leur mode de fonctionnement.

La Fazenda Preciosa, qui s'est implantée il y a une quarantaine d'années, n'a que peu étendu sa surface d'exploitation depuis 1987. L'évolution de l'occupation des sols se fait ici en fonction de la gestion des pâturages sur une vingtaine d'années. On observe une rotation avec passage du pâturage avec ligneux à des formes de forêts basses ou de «capoeira» puis éclaircissement des parcelles pour en faire à nouveau des pâturages avec ligneux.

Sur la Fazenda São Nicolau, le défrichement et une mise en valeur traditionnelle ont commencé dans les années 80 sur environ un tiers de la superficie actuellement exploitée. Dans les années 90, le processus s'est poursuivi pour atteindre la superficie actuellement exploitée. A la fin des années 90 jusqu'en 2003, le reboisement recouvre l'essentiel de la zone d'exploitation.

La dynamique d'occupation du sol est toujours rapide et s'étale sur des périodes de 10 à 20 ans, pouvant entraîner des changements radicaux dans les modes d'exploitation. Ce n'est que sur la Fazenda Preciosa que l'on a une stratégie constante avec pour objectif d'obtenir les meilleurs pâturages sur un cycle de 20 ans. Sur la Fazenda São Nicolau, après une phase de 20 ans environ d'occupation du sol classique, une modification radicale de stratégie s'est opérée et dont l'impact s'est produit aux cours des dix années suivantes. Sur l'assentamento, les rythmes sont encore réduits, car la période de développement ne dépasse pas la douzaine d'années.

Quelle que soit la ferme, les changements se font sur des temps courts, y compris sur la Fazenda Preciosa installée depuis presque une quarantaine d'années. Les stratégies qui consistent à passer rapidement d'un faciès de pâturage à un autre comme on le constate sur la Fazenda Preciosa à des fins d'amélioration de pâturage ou encore en discutant avec les assentados, ne semblent pas être des temps suffisants pour permettre d'avoir une influence décisive sur les variations des stocks de carbone. De ce fait, elles ne favorisent pas l'identification des conditions optimales de stockage de carbone. Bien que la Fazenda São Nicolau et l'Assentamento Vale do Amanhecer appartiennent tous les deux à un projet « puits de carbone », les valeurs obtenues restent modestes en général et sont sans doute à mettre en relation avec le caractère récent de ces modes de gestion. De plus, l'attribution par les propriétaires de telle ou telle occupation du sol à une parcelle se fait de façon tout à fait indépendante des propriétés du sol, ceci ne facilitant pas non plus l'interprétation. En effet, l'hétérogénéité des valeurs obtenues doit être aussi reliée à la dispersion des valeurs initiales des stocks de carbone dans les forêts naturelles avant déboisement. Ces parcelles forestières échantillonnées qui peuvent être considérées comme parcelles de référence, possèdent des données diverses (toujours très modestes par rapport aux valeurs régionales fournies dans la littérature). Cela implique un fond de stock de carbone variable en relation avec des évolutions antérieures de la forêt naturelle et avec l'organisation des unités morpho-pédologiques.

Limites et Perspectives

L'objectif de la thèse était d'étudier la relation entre le stock de carbone, les propriétés du sol et l'occupation du sol. Si certains résultats intéressants sont fournis par cette étude, les résultats, non exhaustifs, posent certaines questions nécessitant des analyses ultérieures.

Une des limites est associée à la représentation cartographique. Elle présente l'avantage de la lecture instantanée des informations qui dépendent du type de traitement statistique des données. L'opération de décomposer les différentes variables en classes peut rendre les informations plus lisibles mais le produit final de la cartographie est biaisé par la

distribution des points échantillonnés, notamment en bordure des zones étudiées, engendrant un certain nombre d'erreurs. Les points échantillonnés ne suivent pas un maillage standard qui permet d'atteindre tous les requis des formules mathématiques des méthodes d'interpolation. Enfin ce mode de cartographie ne prend pas en compte des discontinuités du terrain.

L'autre limite est liée aux échantillonnages. En effet notre échantillonnage en fonction des différentes espèces végétales, sans être exhaustif, recouvre une grande variété. Cela a eu pour conséquence de minimiser le nombre d'échantillons par espèce et très certainement de contribuer à disperser les valeurs des données.

La perspective est la poursuite des mesures de valeurs de carbone dans le sol à partir de nouvelles recherches.

Dans ce travail, nous avons fait des mesures qui ont permis de saisir les teneurs en carbone à un moment donné. A plusieurs reprises, nous nous sommes posé la question des quantités de stocks de carbone antérieures à la déforestation ou à la mise en place de modes de gestion recommandés par le CCNUCC. Pour une évaluation des actions en relation avec le mécanisme REDD, il serait nécessaire de sélectionner des parcelles témoins sur l'Assentamento Vale do Amanhecer et la Fazenda São Nicolau afin d'effectuer un suivi annuel du carbone. Cela permettrait de connaître la production annuelle de carbone et ainsi de s'assurer de l'efficacité des systèmes mis en place et de mieux cerner les trajectoires temporelles du carbone en fonction des méthodes et des espèces végétales retenues.

Bibliographie

Albuquerque M.C. de. e Oliveira C.C. de., 2007 : *Programa Geologia do Brasil*. Brasil. MME/CPRM/SICME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Goiânia, GO, 90 pages.

Amaral D.L., Fonzar B.C. e Oliveira Filho L.C. de., 1982 : *Vegetação. As Regiões Fitoecológicas, sua Natureza e seus Recursos Econômicos*. Folha SD.21/Cuiabá. Brasil. MME/SG, *Projeto RADAMBRASIL, (Levantamento dos Recursos Naturais, 26)*, PIN, pp. 401 – 452, Rio de Janeiro.

Angelsen A., 2008 : *Moving Ahead With REDD: Issues, Options and Implications*. CIFOR – Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 156 pages.

Angelsen A., Brown S., Loisel C., Peskett L., Streck C. e Zarin D., 2009 : *Redução de Emissão do Desmatamento e da Degradação Florestal (REDD): Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report. Relatório de Avaliação de Opções. Rel. Meridian Institute*, 120 pp, pp. 14 – 16, Oslo, Noruega.

Angers D.A. and Chenu C., 1998 : Dynamics of soil aggregation and C sequestration. In: Lal R., Kimble J.M., Follett R.A. and Stewart B.A., (Eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. Chapter 14, pp. 199 – 206, CRC Press, Boca Raton.

Antoni V. et Arrouays D., 2007 : *Le stock de Carbone dans les sols agricoles diminue*. In : France. IFEN – Institut Français de l'Environnement, n. 121, France, 4 pages.

Antunes A.F.B., 1996 : *Fundamentos de Sensoriamento Remoto em Ambientes de Geoprocessamento*. UFPR. Departamento de Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento, Curitiba, PR, 77 pages.

Arevalo L.A., Alegre J.C. e Vilcahuaman L.J.M., 2002 : *Metodologia para Estimar o Estoque de Carbono em Diferentes Sistemas de Uso da Terra*. Brasil. EMPBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. *Documentos 73*, Colombo, PR, 40 pages.

Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F. et Stengel P., 2002 : *Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Rapport d'expertise réalisé par l'INRA, à la demande du Ministère de l'Ecologie et Développement Durable*, Paris, France, 334 pages.

Arrouays D., Deslais W., Daroussin J., Balesdent J., Gaillard J., Dupoucy J.L., Nys C., Badeau V. et Belkacen S., 1999 : *Stocks de carbone dans les sols de France : quelles estimations ? Rel. Académie d'Agriculture de France*, 85, 267 – 278.

Arrouays D. and Pelissier P., 1994 : *Changes in carbon storage in temperate humic loamy soils after forest clearing and continuous corn cropping in France. Plant Soil*, 160, 215 – 223.

Assumpção J.V.L., 2008 : *Desenvolvimento Inicial de Ficus maxima*. Mill. *Em Reflorestamento Puro e Mixto em Cotriguaçu – MT*. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais. Faculdade de Engenharia Florestal. Programa de Mestrado em Engenharia Florestal e Ambiental. UFMT, Cuiabá, MT, 51 pages.

Azevedo A.A., Nepstad D., Bezerra T., Stabile M.C.C., Lopes L., Alencar A., Castro I., Moutinho P. E Stickler C., 2013 : *Mato Grosso no Caminho para Desenvolvimento de Baixas Emissões: Custos e Benefícios da Implementação do Sistema Estadual de REDD+*. Brasil. IPAM. Colaboração: SEMA. Instituto Centro de Vida – ICV, GT REDD, Brasília, DF, 38 pages.

Baede A.P.M., Ahlonsou E., Ding Y. and Schimel D., 2001 : *The Climate System: An overview. In: Climate Change. 2001. The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van Der Linden P.J., Dai X., Maskell K. and Johnson C. A., 2001 (Eds.), Cambridge University Press, UK and New York, NY, USA, Chap.1, Cambridge, UK, 881 pages.*

Barbosa A.P., 2009 : *Comparação de Métodos de Classificação de Imagens, Visando o Gerenciamento de Áreas Citricolas*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas. UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 80 pages.

Batjes N.H., 1999 : Management Options for Reducing CO₂-Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil, Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. Dutch National Research Program on Global Air Pollution and Climate Change and Technical Paper. *Report, 410-200-031*, n. 30, Wageningen, 114 pages.

Batjes N.H., 1998 : Mitigation of atmospheric CO₂ concentrations by increased carbon sequestration in the soil. *Biol. Fertil. Soils*, V. 27, pp. 230 – 235.

Batjes N.H., 1996 : Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, V. 47, pp. 151 – 163.

Bayer C. e Diekow, J., 2005 : Metodologia para determinação do sequestro de carbono em solos sob plantio direto no Brasil. In: Simpósio Sobre Plantio Direto e Meio Ambiente, Foz do Iguaçu. Sequestro de Carbono e Qualidade da Água. *Anais do.*, pp. 58 – 62, Foz do Iguaçu, PR.

Bégin D. et Pumain D., 2000 : *La représentation des données géographiques : statistiques et cartographie*. Ed. A. Colin, Col. Cursus, 192 pages.

Bernoux M., Cerri C.C., Volkoff B., Carvalho M.C.S., Feller C., Cerri C.E.P., Eschenbrenner V., Piccolo M.C. et Feigl B., 2005 : Gaz à effet de serre et stockage du carbone par les sols, inventaire au niveau du Brésil. *Cahiers Agricultures*, V. 14, n. 1, pp. 96 – 100.

Bickel P. J. and Rosenblat M., 1973 : On Some Global Measures of the Deviation of Density Function Estimates. *The Annals of Statistics*, V. 1, n. 6, pp. 1071 – 1095.

Bittencourt Rosa D., Nascimento L.A., Soares J.A. e Lago L.P., 2006 : Novos Dados acerca da Caracterização Geológica e Geomorfológica da Área dos Baixos Rios Juruena e Teles Pires no Estado de Mato Grosso. In: Encontro Sul Mato-Grossense de Geógrafos, XIV, UFMS, *Anais do.*, CD/R, V. 1, pp. 1 – 24, Corumbá, MS.

Bittencourt Rosa D., Alves D.O., Nascimento L.A., Macedo M., Pinto S.D.S., Garcia Netto, L.da.R., Borges C.A., Rosseto O.C., Tocantins N., Gela A., Santos P.L.dos. e Geraldo A.C.H., 2002 : Um Estudo Geoambiental Comparativo das Características Morfoestruturais e Morfoesculturais nas Áreas das Bacias do Alto Rio Paraguai e do Rio Teles Pires no Estado de Mato Grosso. *Projeto de Pesquisa, Rel. Final FAPEMAT/CNPq*, Cuiabá, MT, 319 pages.

Bittencourt Rosa D., Nascimento L.A., Dubreuil V., Figueiredo L.F.de. y Cassiano J.E., 2013 : Novos Dados acerca dos Aspectos Geográficos e Geológicos da Área da Fazenda São Nicolau e Circunvizinhanças – Município de Cotriguaçu – MT. In: *Encuentro de Geógrafos de América Latina, Reencuentro de Saberes Territoriales Latinoamericanos*, EGAL, XIV, Lima, Peru, *Annales do.*, CD/R., pp. 1 – 20, Lima, Peru.

Bittencourt Rosa D., Nascimento L.A., Rocha L.C., Pinto S.D.S., Schwenk L.M., Penven M.-J., Metello H.da.S., Dubreuil V., Nedelec V., Figueiredo L.F.de., Menezes Lima P.R., Nascimento J.L.da.S., Caldas J.A.de.P. e Araujo V.S., 2012 : Uma Aplicação dos Estudos Geocientíficos, Socioeconômicos, Educacionais, Ambientais e Urbanos para o Desenvolvimento Sustentável nas Áreas das Bacias Hidrográficas dos Rios Alto Paraguai, Guaporé, Juruena e Teles Pires no Estado de Mato Grosso. *Projeto de Pesquisa, Rel. Final, FAPEMAT, Processo n. 285129/2010*, Cuiabá, MT, 246 pages.

Blanchart E. et Bernoux M., 2005 : *Déterminants des stocks de carbone des sols des petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés*. Ministère de l'Écologie et du Développement Durable. Projet de Recherche, Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, France, 104 pages.

Bouyoucos C.J., 1926 : Estimation of the colloidal material in sols. *Science*, V. 65, pp. 362 – 374, New York, USA.

Braga L.P.V., 2010 : Compreendendo Probabilidade e Estatística. *E-Papers*, page 230, Rio de Janeiro, RJ.

Brasil. CONAMA., 1985 : *Artigo 3º da Resolução CONAMA nº 004 de 18 setembro de 1985*, Brasília, DF.

Brasil. CONAMA. Código Florestal do Brasil., 1985 : *Artigo 29 da Resolução CONAMA nº 004 de 18 setembro de 1985*, Brasília, DF.

Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil/SECMIN-Mato Grosso., 2004^a : *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso*. Mapa Geológico, CD/R, Goiânia, GO, 252 pages.

Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil., 2004b : *Projeto Promin Província Alta Floresta. Folha SC.21-V-D – Rio São João da Barra*. Brasília, DF, 148 pages.

Brasil. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1999 : *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*, Brasília, DF, 429 pages.

Brasil. EMBRAPA/MAPA/CNPS – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Centro Nacional de Pesquisa de Solos., 2006 : *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*, 2ª Ed., Revisada, Rio de Janeiro, RJ, 306 pages.

Brasil. EMBRAPA/MAPA/CNPS – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Centro Nacional de Pesquisa de Solos., 2006 : *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*, 2ª Ed., Revisada, Rio de Janeiro, RJ, 306 pages.

Brasil. EMBRAPA/SNLCS., 1997 : *Manual de Métodos de Análises de Solos*. 2ª. Ed., Rio de Janeiro, RJ, 212 pages.

Brasil. EMBRAPA/SOLOS., 2000 : Sequestro e Emissão de Carbono em Ecossistemas Agrícolas: Estratégias para o Aumento dos Estoques de Matéria Orgânica em Solos Tropicais. *Documento n.19*, Rio de Janeiro, RJ, 32 pages.

Brasil. IBGE., 2006 : *Informações e Históricos. Cotriguaçu*. Rio de Janeiro, RJ, 1 page.

Brasil. IBGE. 1991. *Sinopse preliminar do censo demográfico*. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação. V. 6, n. 24, Mato Grosso, pp. 1 – 64, Rio de Janeiro, RJ.

Brasil. INPE., 2012/2013 : Sistema Prodes (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal). *Natureza*, 4 pages.

Brasil. IPAM., 2011 : *REDD no Brasil: um enfoque amazônico. Fundamentos, critérios e estruturas institucionais para um regime nacional de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal – REDD*. Edição revista e atualizada. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), Brasília, DF, 156 pages.

Brasil. IPAM., 2013 : *Mato Grosso no Caminho para o Desenvolvimento de Baixas Emissões: Custos e Benefícios da Implementação do Sistema Estadual de REDD+*, Brasília, DF, 45 pages.

Brasil. MAPA/MCT/MMA., 2012 : *Projeto TerraClass 2012*. Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira. EMBRAPA/INPE, 38 pages.

Brasil. Mato Grosso. SEPLAN., 2011 : *Atlas de Mato Grosso. Abordagem socioeconômico-ecológica*. Ed. Entrelinhas, 100 pages.

Brasil. MMA., 1997 : *Documento Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Capítulo 35, 11 pages.

Brasil. MME. PETROBRAS., 2010 : Projeto Poço de Carbono Juruena. ADERJUR. Juruena, MT.

Brasil. MPOG. IBGE., 2009 : *Mapa Geológico do Estado de Mato Grosso*. Diretoria de Geociências, Escala 1: 1.1.500.000, Rio de Janeiro, RJ.

Brasil. MPOG. IBGE., 2012 : *Vegetação. Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Revista e Ampliada. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. *Manuais Técnicos em Geociências*, n. 1, Rio de Janeiro, RJ, 271 pages.

Brasil. MPOG. IBGE., 2010 : *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*. Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro, RJ, 443 pages.

Braun E.H.G., 1962 : Os Solos de Brasília e suas Possibilidades de Aproveitamento Agrícola. *Rev. de Geografia*, (1), V. 24, pp. 43 – 78, Rio de Janeiro.

Brienza Junior S., 1999 : *Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in eastern Amazon of Brazil*. Ph.D. Thesis. University of Göttingen, Germany, 139 pages.

Bruce J.P., Frome M., Haites E., Janzen H. and Lal R., 1999 : Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservations*, 5: 382 – 389.

Brundtland Report our Common Future., 1997 : *The World Commission 3 on Environment and Development*. 383 pp. (Brundtland G.H., 1992 : RIO 92 – A Vida em Risco – *O Desafio Global*).

Bursztyn M., 2001 : *Políticas Públicas para o Desenvolvimento (Sustentável)*. In: Bursztyn M. (organ.), pp. 59 – 76, A Difícil Sustentabilidade, Política, Energética e Conflitos Ambientais. Ed. Garamond, Rio de Janeiro, RJ, 263 pages.

Callendar G.S., 1938 : The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, V. 64, Issued 275, pp. 223 – 240.

Calmel M., Martinet A., Grondard N., Dufour T., Rageade M. et Ferte-Devin A., 2010 : *REDD+ à l'échelle du projet, guide d'évaluation et de développement*. ONF International, 220 pages.

Camargo O.A.de., Moniz A.C., Jorge J.A. e Valadares, J.M.A.S., 2009 : Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agronômico de Campinas. *Bol. Técnico*, n. 106, Ed. Revisada e Atualizada, Campinas, SP, 77 pages.

Campos A.V.de., Dirani A., Ribeiro A.G., Tsukamoto R.Y., Minelli M.L., Mottana C.E. e Roessing H.M., 1980 : Uso Potencial da Terra. Folha SC.21/Juruena. Brasil. MME/DNPM. *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 20)*, pp. 377 – 416, Rio de Janeiro.

Cardoso A., 2011 : REDD+ Projetos de REDD+ na Amazônia e o Mercado de Carbono. In: Observatório de Investimentos na Amazônia. *Nota Técnica 6*, 17 pages.

Carraro N.M.S.R. e Lopes L.M., 2006 : Serra da Areia e Entorno: compartimentos morfopedológicos, uso/ocupação da terra e impactos ambientais. In: Regional Conference on Geomorphology, VI, Goiânia, GO, *Anais da.*, Cd-rom, pp. 1 – 16, Goiânia, GO.

Carreire M.B.F., 2009 : *Estimativas de biomassa, do índice de área foliar e aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento no estudo da cobertura vegetal em áreas de florestas ombrófila aberta e densa na Amazônia : Estimation de la biomasse, de l'indice foliaire et application de la télédétection dans l'étude de la couverture végétale en forêts ombrophiles ouverte et dense en Amazonie*. Tese de Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais. INPA. Manaus, AM, 409 pages.

Castro G.C.de., 2008 : *Carbono Orgânico nas Frações Granulométricas e Húmicas em Solos de Diferentes Texturas sob Florestas da Região Noroeste Matogrossense*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambiental, Faculdade de Engenharia Florestal, UFMT, Cuiabá, MT, 45 pages.

Castro A.A.J.F., Castro, N.M.C.F., Costa J.M.da., Farias R.R.S.de., Mendes M. R.A., Albino R.S., Barros J.S., Oliveiras M.E.A., 2007 : Cerrados marginaux du nordeste e ecótonos associados. *Rev. Brasileira de Biociências*, V. 5, supl.1, pp. 273 – 275, Porto Alegre, RS.

Cerri C.C., Bernoux M., Carvalho M.C.S. e Volkoff B., 2006 : Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos e por Mudanças de Uso da Terra e Calagem. Brasil. MCT. *Rel. De Referência*, Brasília, DF, 49 pages.

Cerri C.C., Bernoux M., Volkoff B. e Moraes J.L., 1996 : *Dinâmica do Carbono nos Solos da Amazônia*. In : Alvarez V.H.V., Fontes L.E.F. e Fontes M.P.F. (Eds.), 1996. O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. UFV, Departamento de Solos, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 61 – 70, Viçosa, MG, 930 pages.

Chambers J.Q., Higuchi N., Tribuzy E.S. and Trumbore S.E., 2001a : Carbon sinks for a century. *Nature*, 410, 429.

Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Fölster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.-P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riera B. and Yamakura T., 2005 : Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. In : *Oecologia*, V. 145, n. 1, 87 – 99.

Clairay M., 2003 : *Etude par télédétection des structures spatiales du front pionnier dans le nord du Mato Grosso*. Thèse de Doctorat de Géographie de l'Université Rennes 2. Programme CAPES/COFECUB. Accord : Département de Géographie, UFMT – Laboratoire COSTEL, Université Rennes 2, Rennes, France, 320 pages.

Conference des Parties – Convention du Climat 9 – COP9., 2003 : In : Manfrinato W., 2004. *Rel. De Participation*, Milan, France, 20 pages.

Conference des Parties – Convention du Climat 11 – COP11., 2005 : In : Wertz-Kanounnikoff S. et Tubiana L. 2007. *Intégrer la déforestation évitée dans un nouvel accord sur le climat. Montreal Climate Change Conference*. Montreal, Canada, n. 5. Projet proposé par la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica. Dénommé « Coalition of Rainforest Nations », 4 pages.

Conference des Parties – Convention du Climat 12 – COP12., 2006 : In : *Nairobi, Climate Change Conference*. Nairobi, Kenya. Projet présenté par le gouvernement brésilien comme une proposition pour traiter de la question du déboisement, très similaire aux précédentes, 11 pages.

Corgne S., 2006 : *Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : Application à la couverture hivernale des sols en Bretagne*, Thèse de Doctorat de Géographie de l'Université Rennes 2, Rennes, France, 231 pages.

Corgne S., 2014 : *L'Etude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par télédétection et fusion d'informations*, Dossier d'HDR (Habilitation à Diriger des Recherches, Université Rennes 2, 2 Volumes, V. 1, 137 pages.

Costa O.V., Cantarutti R.B., Fontes L.E.F., Costa L.M.da.; Nacif P.G.S. e Faria J.C., 2009 : Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. In: *R. Bras. Cienc. Solo*, 33: 1137 – 1145.

Cox P.M., Betts R.A., Jones C.D., Spall S.A. and Totterdell I.J., 2000 : Acceleration of global warming due to carbon cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408, 184 – 187.

Cunha N.G.de., Oliveira V.A.de., Oenning I. E Souza L.F.P.de., 1980 : Pedologia. Folha SC.21/Juruena. Brasil. MME/DNPM. *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 20)*, pp. 117 – 164, Rio de Janeiro.

Curi N., Larach J.O.I., Kämpf N., Moniz A.C. e Fontes L.E.F., 1993 : *Vocabulário de Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, 90 pages.

Dalla Corte A.P., 2010 : *Metodologia para detecção de mudanças em projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD)*. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, 145 pages.

Dalla Corte A.P., Sanquetta C.R., Kirchner F.F. e Rosot N.C., 2012 : Os projetos de redução de emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD). In: *Floresta*, V. 42, n. 1, pp. 177 – 188, Curitiba, PR.

Davidovich F., 1993 : *A Propósito do Eco-Urb's 92: a Temática Urbana na Questão Ambiental*. BRASIL. IBGE/Divisão de Geociências, Geografia e Questão Ambiental, pp. 13 – 23, Rio de Janeiro, RJ.

Delahaye F., 2009a : *Analyse du programme de développement durable Proambiente à Juína, MT*. Mémoire du Master, Université Rennes 2, 22 pages.

Delahaye F., 2009b : *Analyse d'un programme de développement durable à Juína en Amazonie Matogrossense, par le suivi des dynamiques d'occupation des sols par télédétection (Images LANDSAT et CBERS) et par enquêtes biogéographiques*. Mémoire de Master II, UHB, 48 pages.

Delahaye F., Dubreuil V., Nedelec V., Munhoz R. et Arvor D., 2009 : Analyse du programme de développement durable Proambiente à Juína-MT. *Rapport de terrain 2009*, 23 pages.

Demaze M.T., 2012 : *Du développement propre à la déforestation évitée Géoscopie des relations Nord-Sud pour atténuer le changement climatique*. Dossier d'HDR. Université du Maine, Le Mans UMR CNRS 6590, Espaces et Sociétés (ESO), 275 pages.

Demaze M.T., 2013 : *Du développement propre à la déforestation évitée Géoscopie des relations Nord-Sud pour atténuer le changement climatique*. In : *Rev. Semestrielle Espace et Société, Travaux et Documents*, CNRS, n. 36, pp. 49 – 57, Le Mans, France.

Dray S. and Dufour A.B., 2007 : The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, V. 22, pp. 1 – 20.

Droulers M., 2004 : *L'Amazonie, vers un développement durable*. Armand Colin, Collection U, Paris, 219 pages.

Duarte T.B., Albuquerque M.C.de. e Ribeiro P.S.E., 2011 : Brasil. MME/Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Carta Geológica, Escala 1: 250.000. *Projeto Folha SC.21-V-C – Rio Aripuanã*, Goiânia, GO, 90 pages.

Dubreuil V., 2005 : *Climats et pionniers du Mato Grosso : apport des données satellitaires et de la modélisation par le suivi des interactions nature/société dans une région de front pionnier de l'amazonie brésilienne*. Dossier d'HDR en Géographie, Université Rennes 2, Laboratoire COSTEL, 3 Volumes, V. 3, Rennes, France, 228 pages.

Dubreuil V., Delahaye C. et Le Strat A., 2010 : Changements d'occupation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. *Rev. Confins*, n. 10, 23 pages.

Escobar L.F., 2008 : *Emissão de Gases de Efeito Estufa em Sistemas de Manejo em Solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 104 pages.

Estrade C., 2010 : Mapas e relatórios. Projeto Poço de Carbono Peugeot – ONF-IPN. *Rel. Técnico*. Cuiabá, MT, 39 pages.

Eswaran H., Van Der Berg E. and Reich P., 1993 : Organic Carbon in Soils of the World. In : *Soil Sci. Soc. Am. Journal*, V. 57, pp. 192 – 194.

EUROSTAT – Commission Européenne., 2000 : *Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'informations sur l'occupation et l'utilisation des sols*. France, France, 110 pages.

FAO – Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture., 2002 : La Séquestration du Carbone dans le Sol pour une Meilleure Gestion des Terres. *Rapport*, Rome, Italie, 76 pages.

Fearnside P.M., 1997^a : *Comentários acerca da Implementação da Convenção Quadra das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, pp. 41 – 44. In: Cordani U.G., Marcovitch J. e Salati E. *Avaliação das Ações Brasileiras em Direção ao Desenvolvimento Auto-Sustentável Cinco Anos após a Rio-92*, São Paulo, SP, 307 pages.

Fearnside P.M., 1997b : Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions, *Climate Change*, V. 3, n. 35, pp. 321 – 360.

Fearnside P.M. and Barbosa R.I., 1998 : Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Rev. Forest Ecology and Management*. V. 108, pp. 147 – 166.

Fearnside P.M. and Guimarães M., 1996 : Carbon uptake by secondary forest in Brazilian Amazonia. In: *Forest Ecology and Management*, V. 80, pp. 30 – 46, Amsterdam.

Fearnside P.M., Luizão F.J., Cerri C.E.P. and Lehmann J., 2009 : *The Maintenance of Soil*

Fertility in Amazonian Managed Systems. In: Keller M., Dias P.da. and Gash J. (Eds.). Amazonia and Global Change. American Geophysical Union (AGU), Washington, DC, USA, V. 1, pp. 1 – 37.

Ferreira A.B.de.H., 2002 : *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. Nova Edição Revista e Aumentada, Ed. Nova Fronteira, page 1654, Rio de Janeiro, RJ.

Fidalgo E.C.C., Benites V.de.M., Machado P.L.O.de.A., Madari B.E., Coelho M.R., Moura I.B.de. e Lima C.X.de., 2007 : *Estoque de Carbono nos Solos do Brasil*. Brasil. EMBRAPA/SOLOS, Rio de Janeiro, RJ, 122 pages.

Fontaneli R.S., Durr J.W., Scheffer-Passo S.M., Haubert F. e Bortolini F., 2002 : Validação do Método da Reflectância no Infravermelho Proximal para Análise de Silagem de Milho. *Rev. Brasileira de Zootecnia*. V. 31, n. 2, 8 pages.

France. IFEN – Institut Français de l'Environnement., 2007 : *Analyse statistique et cartographique de l'érosion marine*. 2 pages.

Frasca A.A. e Borges F.R., 2004 : Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Brasil. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Projeto Província Mineral de Alta Floresta (Promin Alta Floresta)*. Geologia e Recursos Minerais da Folha Ilha 24 de Maio – SC.21-Z-A. Brasília, DF, 143 pages.

Freddi O.da.S., Ferraud A.S. e Centurion J.F., 2008 : Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. *Rev. Brasileira de Ciências do Solo*, V. 32, pp. 953 – 961.

Freitas L.de., Casagrande J.C., Oliveira I.A.de. e Campos M.C.C., 2014 : Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. *Rev. Ciências Agrárias*, V. 57, n. 3, pp. 224 – 233, São Paulo, SP.

Friedlingstein P., Cox P.M.R., Betts L., Bopp W., Von Bloh V., Brovkin P., Cadule S., Doney M., Eby I., Fung G., Bala J., John C., Jones F., Joos T., Kato M., Kawamiya W., Knorr K., Lindsay H.D., Matthews T., Raddatz P., Rayner C., Reick E., Roeckner K.-G., Schnitzler R., Schnur K., Strassmann A.J., Weaver C., Yoshikawa C. and Zeng N., 2006 : Climate–Carbon Cycle Feedback Analysis: Results from the C4MIP Model Intercomparison. *J. Climate*, n. 19, pp. 3337 – 3353.

Gardiman Junior B.S., Magalhães I.A.L., Freitas C.A.A.de. e Cecílio R.A., 2012 : Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). In: UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, *Rev. Ambiente*, V. 8, n. 1, pp. 61 – 71, Guarapuava, PR.

Garrity D. and Fisher M., 2001 : Proceedings of the Workshop on Tropical Agriculture in Transition: Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions. Center for Development Research. *Report of the CG Inter Center Group on Climate Change and Recommendation for a Challenger Program*, Bonn, Germany, 5 pages.

Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O. and Clarke P., 1994 : Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal Science*, 32 : 1043 – 1068.

Grimaldi M., Sarrazin M., Chauvel A., Luizão F., Rosario M.de., Rodriguez L., Amblard P. et Tessier D., 1993 : Effets de la déforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. *Cahiers Agriculture*, V. 2, n. 5, pp. 36 – 47, Montrouge, France.

Guimarães J.L.B., 2000 : *Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno – São José dos Pinhais– PR*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, PR, 216 pages.

Harrison J.A., 2003 : The Carbon Cycle. *Vision learning*, V. 2, n. 4, Virginia, USA.

Hickmann C. e Costa L.M.da., 2012 : Estoque de carbono no solo e agregados em argissolo sob diferentes manejos de longa duração. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 16, n. 10, pp. 1055 – 1061, Campina Grande, PB.

Higuchi N., Chambers J.Q., Santos J., Ribeiro R.J., Pinto A.C.M., Silva R.P., Rocha R.M. e Tribuzy E.S., 2004 : Dinâmica e Balanço do Carbono de Vegetação Primária da Amazônia Central. *Floresta*, V. 34, n. 3, pp. 295 – 304.

Holtz G.P. e Mota J.A., 2005 : *Protocolo de Quioto: O Potencial de Sequestro de Carbono pela Agricultura Conservacionista no Brasil*. In: Fórum Capixaba de Mudanças Climáticas e Uso Racional da Água, Vitória, ES, 13 pages.

Houghton J., 200 : Global Warming, Climate Change and Sustainability – Challenge to Scientists, Policymakers and Christians. JRT-The John Ray Initiative. Connecting environment, science and Christianity. *Briefing Paper*, 14, Third Edition, 16 pages.

Houghton R.A., Hall F.G. and Goetz S. J., 2009 : The importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research*, V. 114, 13 pages.

Hugo Silva G., Leal J.W.L., Montalvão R.M.G.de., Bezerra P.E.L., Pimenta O.N.dos., Tassinari C.C.G. e Fernandes C.A.C., 1980 : Geologia, Folha SC.21/Juruena, Brasil. MME/DNPM. *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 20)*, pp. 21 – 117, Rio de Janeiro.

Hugo Silva G., Leal J.W.L., Salum O.A.L., Dall'Agnol R. e Basei M.A.S., 1974 : Esboço Geológico de Parte da Folha SC.21/Juruena. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, RS, *Anais do.*, V. 4, pp. 309 – 320, Sociedade Brasileira de Geologia, Porto Alegre, RS.

IDD., 2003 : Histórico de Distribuição de Dados Unidata Internet (IDD) global observacional de dados, maio de 2003. *The Research Data Archive is managed by the Data Support Section of the Computational and Information Systems Laboratory at the National Center for Atmospheric Research in Boulder*. National Science Foundation, Colorado, USA.

IPCC. Climate Change., 1997 : *An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report*, [Houghton J.T., Meira Filho L.G., Griggs D.J. and Maskell K. (Eds.)], 51 pages.

IPCC. Climate Change., 2007 : *A Base das Ciências Físicas. Sumário para os Formuladores de Políticas. Quarto Relatório de Avaliação do GTI do IPCC*, Paris, (Tradução de Anexandra de Avila Ribeiro), 25 pages.

IPCC. Climate Change., 2000 : *Land Use. Land-Use Change and Forestry*. Chap. 3: Afforestation, Reforestation, and Deforestation (ARD) Activities, Cambridge University Press, UK, 375 pages.

IPCC. Climate Change., 2001 : *Synthesis Report – A contribution of working groups I. II. And III to the Third Assessment Report*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pages.

Ker, J.C., Pereira N.R., Carvalho Júnior W.de. e Carvalho Filho A.de., 1990 : *Cerrados: Solos, Aptidão e Potencialidade Agrícola*. In: *Simpósio sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado, Goiânia, GO*, Ed. Fundação Cargill, pp. 1 – 19, Goiânia, GO.

Kononova M.M., 1982 : *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona : (Traduction par Enriqueta Bordás de Muntán). Ed. Oikos-Tau, 365 pages.

Kononova M.M., 1966 : *Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Pergamon Press, Oxford, 2^a Ed. English (Translated from Russian by Nowakowsky, T. Z. and Newman, A. C. D.), UK, 544 pages.

Kumada K., 1965 : Studies on the colour of humic acids. Part 1. On the concepts of humic substances and humification. *Soil Sci. Plant Nutrition*, n. 11, pp. 11 – 16.

Lacerda Filho J.V., Abreu Filho W., Valente C.R., Oliveira C.C.de. e Albuquerque M.C.de., 2004 : Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil/ SICME. *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. Mapa Geológico*, Escala 1: 1.000.000, CD/R, Goiânia, GO, 252 pages.

Lal R., Griffin M., Apt J., Lave L. and Morgan G.M., 2004 : Managing Soil Carbon. *Rev. Science*, V. 304, n. 5669, pp. 304 – 393.

Lal R., Kimble J.M. and Follett R.F., 1997 : *Land Use and Soil C Pools in Terrestrial Ecosystems*. In: Lal, R.; Blum, W. H.; Valentine, C. and Stewart, B. A. (Eds.). 1997. *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, Cap. 1, Ohio, USA, 555 pages.

Lal R., Kimble J.M., Levine E. and Whitman C., 1995 : *World soil and greenhouse effect: An overview*. In: Lal, R.; Kimble, J. M.; Levine, E. and Stewart, B. A. (Eds.) *Soils and global change*. Boca Raton, CRC Press, pp. 1 – 7.

Laurent F., 2012 : *Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales*. Dossier d'HDR (L'Habilitation à Diriger des Recherches). Université du Maine, Le Mans UMR CNRS 6590, Espaces et Sociétés (ESO), 185 pages.

Laurent F., Leturcq G., Mello I., Corbonnois J. et Verdun R., 2011 : La diffusion du semi directe au Brésil, diversité des pratiques et logique territoriales : l'exemple de la région d'Itaipu au Paraná. *Rev. Confins (On Line)*, n. 12, 20 pages.

Le Borgne-David A., 1998 : *Les Migrations Paysannes du Sud-Brésil vers l'Amazonie : Le salariat plutôt que la malaria*. Ed. L'Harmattan, Paris, 220 pages.

Le Tourneau F.M., 2004 : Jusqu'au bout de la forêt ? Causes et mécanismes de la déforestation en Amazonie brésilienne. *Mappemonde*, V. 75, n. 2004, 312 pages.

Lepsch I. F., 2002 : *Formação e Conservação dos Solos*. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 185 pages.

Locatelli B., 2005 : *Mécanisme de Développement Propre : qu'elles opportunités pour le secteur forestier d'Afrique Centrale ?* In : Séminaire de Formation « Mécanismes de Financement Durable », Libreville, Gabon, 21 pages.

Lounis B. et Belhadj A.A., 2005 : *Processus de Correction Radiométrique Relative « PCRR » Appliqué Aux Images Landsat TM Multi Dates*. In: International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, SETIT 2005 3rd, March 27-31, Tunisia, 6 pages.

Loureiro R.L.de., Dias A.de.A., Magnago H., Fonzar B.C., Ferreira H.de.C.S., Bemergli F.A.S., Vaillant P.F.M. e Ferreira H.de.C., 1980 : *Vegetação*. Folha SC.21/Juruena. Brasil. MME/DNPM. *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 20)*, pp. 325 – 376, Rio de Janeiro.

Machado P.L.O.de.A., 2004 : *Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global*. Brasil. EMBRAPA/SOLOS, Rio de Janeiro, RJ, 14 pages.

Machado P.L.O.de.A., 2005 : *Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global*. *Rev. Química Nova*, V. 28, n. 2, pp. 329 – 334, São Paulo, SP.

Madari B.E., Cunha T.J.F., Novotny E.H., Milori D.M.B.P., Martin Neto L., Benites V.de.M., Coelho M.R. e Santos G.A.dos., 2010 : *Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo*. In: Teixeira W.G., Kern D.C., Madari B.E., Lima H.N. e Woods W. (Orgs.). *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua Caracterização e Uso deste Conhecimento na Criação de Novas Áreas*. 1^a Ed., ED.UFAM/EMBRAPA, V. 1, pp. 172 – 188, Manaus, AM.

Marques J.D.O., Luizão F.J., Teixeira W.G. E Araújo M., 2013 : *Carbono orgânico em solos sob floresta na Amazônia Central*. In: Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação, *Anais do.*, Salvador, BA, 10 pages.

Martin Neto L., Segnini A., Simões M.L., Milori D.M.B.P., Silva W.T.L.da. e Primavesi O., 2005 : *Dinâmica e Estabilidade da Matéria Orgânica em Área com Potencial para Sequestro de Carbono*. Brasil. EMBRAPA. Documentos 17, São Carlos, SP, 52 pages.

Mato Grosso. SEMA., 2009 : *Documento base para o desenvolvimento do Programa REDD no Estado de Mato Grosso*. Grupo de Trabalho de REDD, Mato Grosso, Cuiabá, 14 pages.

Mato Grosso. Sistema Estadual de REDD+ de Mato Grosso., 2012 : *Minuta de Anteprojeto de Lei. REDD em Mato Grosso : rumo à implementação*. Grupo de Trabalho de REDD do Forum Mato-grossense de Mudanças Climáticas (GT REDD MT), Cuiabá, MT, 11 pages.

May P.H.; Calixto B. e Gebara M.F., 2011 : *A política de REDD+ na mídia: um estudo de caso do Brasil. Documento de trabalho 66. (REDD+ politics in the media: a case study from Brazil. Working Paper 55)*. CIFOR – Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia, 38 pages.

Mclauchlan K.K., Hobbie S.E. and Post W.M., 2006 : Conversion from agriculture to grassland builds soil organic matter on decadal timescales. *Ecological Applications*, 16, 143 – 153.

Medeiros J.C., 2012 : *Funções de pedotransferência em estudos do funcionamento hídrico do solo na região sudeste do Estado do Pará*. Tese de Doutorado em Ciências. Área de Concentração de Solos e Nutrição de Plantas. ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 120 pages.

Melo D.P.de. e Franco M.do.S.M., 1980 : Geomorfologia. Folha SC.21/Juruena. Brasil. MME/DNPM. *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento dos Recursos Naturais, 20)*, pp. 117 – 164, Rio de Janeiro.

Micol L., Andrade J. e Borner J., 2008 : *Redução das emissões do desmatamento e da degradação florestal (REDD): potencial de aplicação no Estado do Mato Grosso*. Instituto Centro de Vida, Ed. EGM, Cuiabá, 93 pages.

Miranda D.L.C., Sanquetta C.R., Costa L.G.da.S. e Dalla Corte A.T., 2012 : Biomassa e Carbono em *Euterpe oleracea*, Mart, na Ilha de Marajó – PA. In: *Rev. Floresta e Ambiente*, V. 3, n. 19, pp. 336 – 343.

Miranda L. e Amorim L., 2001 : *Atlas do Estado de Mato Grosso*. Ed. Entrelinhas, Cuiabá, MT, 40 pages.

Monteiro L.L., 2008 : *Carbono em solos de cerrado: vegetação nativa de cerrado versus plantios de Eucalyptus e Pinus*. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, USP, São Paulo, SP, 130 pages.

Moraes R.M.de., 1999 : *Sensoriamento Remoto e Classificação de Imagens*. Departamento de Estatística, UFPB, João Pessoa, PB, 46 pages.

Morais V.A., Silva C.A., Scolforo J.R.S., Mello J.M.de., Araújo E.J.G.de. e Assis E.A.de., 2013 : Modelagem do teor de carbono orgânico em solos de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. *Rev. Pesquisa. Florestal Brasileira*, Colombo, V. 33, n. 76, pp. 343 – 354.

Moreira C.S., 2008 : Projeto Poço de Carbono-PSA / ONF. Internacional. Fazenda São Nicolau. Estado de Mato Grosso. Brasil. CENA / USP. *Rel. Parcial de Atividades*, Piracicaba, SP, 17 pages.

Moreira C.S., 2010 : *Estoques de carbono do solo em áreas de reflorestamentos, Bases para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*. Tese de Doutorado em Ciências. Brasil. CENA, USP, Piracicaba, SP, 188 pages.

Moreira M.L.C. e Vasconcelos T.N.N., 2007 : *Mato Grosso SOLOS E PAISAGENS*. Ed. Entrelinhas, SEPLAN, Cuiabá, MT, 222 pages.

Nascimento L.A., Dubreuil V., Oszwald J. et Penven M.-J., 2014 : L'occupation du Sol et les Systèmes Agro-Forestiers (SAFs) dans l'Assentamento Vale do Amanhecer à Juruena, MT, Brésil. In : ENVIBRAS – Environnement et Geomatique : Approches Comparées France-Brézil. 12 – 15 novembre 2014, *Actes du.*, CD/R, Rennes, France, 8 pages.

Nascimento L.A., Dubreuil V., Oszwald J., Rocha L.C. y Bittencourt Rosa D., 2013 : *Considerações acerca da estocagem de carbono nos municípios de Cotriguaçu e Juruena no noroeste do Estado de Mato Grosso*. In: Encuentro de Geógrafos de América Latina. Reencuentro de Saberes Territoriales Latinoamericanos, EGAL, XIV, Lima, Peru, *Anales del.*, CD/R do., Lima, Peru, 20 pages.

Neale J., 2008 : Campanha Global Contra Mudanças Climáticas. BRASIL. MMA. Conferência Nacional do Meio Ambiente, III, Brasília, DF. *Rel. Técnico de Prestação de Contas*, pp. 13 – 21, Brasília, DF.

Nedelec V., 2000 : *Etude de la colonisation agricole en Amazonie Matogrossense: L'exemple de Carlinda*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université Rennes 2, Rennes, 156 pages.

Nedelec V., 2005 : *Modélisation de la colonisation agricole et de la déforestation dans le nord du Mato Grosso : Approche multi scalaire par télédétection*. Thèse de Doctorat en cotutelle de Géographie, Université Rennes 2 et de CDS-UnB, 294 pages.

Nelson P.W. and Sommers C.E., 1982 : *Total carbon, organic carbon and organic matter*. In: Page, A.L. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison. Soil Science Society of America – SSSA, Agronomy Monograph, 9, pt. 2, pp. 539 – 579.

Nery D., Christovam M., Mesquita I., Splendore J., Stella O. e Moutinho P., 2013 : Povos indígenas e o mecanismo de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD) na Amazônia brasileira. Subsídios à discussão de repartição de benefícios. Brasil. IPAM. *Rel. De Projeto*, Brasília, DF, 72 pages.

Nogueira M.de.O.G., 2013 : *Estoque de Carbono na Biomassa Radicular e no Solo em Ecossistema Florestal em Processo de Recuperação*. Dissertação de Mestrado. UFLA, Lavras, MG, 143 pages.

Novaes Filho J.P., Couto E.G., Oliveira V.A., Johnson M.S., Lehmann J. e Riha S., 2007., Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. *R. Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 91 – 100.

ONFB., 1998 : Projeto Poço de Carbono. Fazenda São Nicolau. *Rel. Interno*, Cotriguaçu, MT, Brasil, 2 pages.

ONFB., 2004 : *Discursos no lançamento do Programa Nacional de Florestas 2004-2007*. BRASIL. MMA, Brasília, DF, Brasil, 6 pages.

ONFI/ONFB–Peugeot Internacional e Nacional., 2011 : *Reunião Franco-Brasileira*, Brasília, DF, Brasil, 4 pages.

ONFI/ONFB/Projeto PETRA – Plataforma Experimental para a Gestão dos Territórios Rurais da Amazônia Legal., 2014 : Reuniões do Comitê Científico e Técnico, do Comitê de Direção e dos Parceiros do Projeto PETRA, *Programa ano 2014, Documento Preliminar*, Chapada dos Guimarães, MT, Brasil, 35 pages.

Oszwald J., 2005 : *Dynamique des formations Agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) ; Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique*. Thèse de Doctorat de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille, 304 pages.

Oszwald J., Gond V., Dolédec S. et Lavelle P., 2011 : Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères. *Rev. Bois et Forêts des Tropiques-Dynamiques Paysagères*, n. 307 (1), pp. 7 – 22, Ed. Le Cirad, Montpellier, France.

Oszwald J., Grimaldi M., Le Clec'h S. et Dufour S., 2014 : Des processus biophysiques aux indicateurs de services écosystémiques. In : Sartre X.A.de., Castro M., Dufour S. et Oszwald J. (Dirs.). *Political ecology des services écosystémiques*. Chapitre 7, pp. 192 – 204, P.I.E. Peter Lang S.A., Ed. scientifiques internationales, Eco Polis, Bruxelles, France, 289 pages.

Oszwald J., Sartre X.A.de., Decaëns T., Gond V., Grimaldi M., Lefebvre A., Fretas L.R.de.A., Souza S. L.de., Marichal R., Veiga I., Velasquez E. et Lavelle P., 2012 : Utilisation de la télédétection et de données socio-économiques et écologiques pour comprendre l'impact des dynamiques de l'occupation des sols a Pacajá (Brésil). *Rev. Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, n. 198, 199, pp. 1 – 17. Marne-la-Vallée, France.

Pádua S., 2005 : *Resumo da Palestra apresentada pelo Professor Don Melnick, O que é a REDD*. Instituto de Pesquisas Ecológicas, 5 pages.

Painter J., 2010 : Climate Change, Latin America and the Media. *Annual lecture to the Society of Latin American Studies*, 6 pages.

Paixão F.A., 2004 : *Quantificação do Estoque de Carbono em Floresta Plantada de Eucalipto e Avaliação Econômica de Diferentes Alternativas de Manejo*. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal, UFV, Viçosa, MG, 76 pages.

Pansu M., 2006 : *Chimie du Sol et Modélisation du Cycle du Carbone et de l'Azote*. Dossier d'HDR. Ecole Doctorale Image et Modélisation des Objets Naturels, Université de Bourgogne, Dijon, France, 174 pages.

Parker C., Brown J., Pickering J., Roynestad E., Mardas N. and Mitchell A.W., 2009 : *The Little Climate Finance Book*. Global Canopy Program, John Krebs Field Station, Oxford, UK, 91 pages.

Parzen E., 1962 : On Stimulation of a Probability Density Function and Mode. *Annals of Mathematics and Statistics*, V. 33, pp. 1065 – 1076.

Passos M.M.dos., 2010 : *Colonização Agrícola e Povoamento na Amazônia Matogrossense*. 1ª Ed. EDUEM, V. 1000, Maringá, PR, 179 pages.

Paustian K., Elliott E.T. and Killian K. 1998b : *Modeling soil carbon in relation to management and climate change in some agro ecosystems in Central North America*. In: Lal R., Kimble J., Levine E. and Stewart, B.A. (Eds.). *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Pp. 459 – 471, CRC Press. Boca Raton, FL.

Paustian K., Six J., Elliott E.T. and Hunt H.W., 2000 : Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. In: *Biogeochemistry*, V. 48, pp. 147–163.

Pavan-Fruehauf S., 2000 : *Plantas Medicinais de Mata Atlântica; manejo sustentado e amostragem*. Ed. Annablume, pp. 70 – 71, São Paulo, SP.

Pegoraro R.F., Ribeiro da Silva I., Novais R.F.de., Barros N.F.de., Fonseca S. e Dambroz C. S., 2011 : Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem. *Rev. Ciência Florestal de Santa Maria*, V. 21, n. 2, pp. 261 – 273, Santa Maria, RS.

Pereira C.P., 2001 : *Avaliação da biomassa acumulada em áreas de vegetação secundária “capoeira” enriquecida com árvores leguminosas, no nordeste do Estado do Pará*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Serviço de Informações CDI, Belém, PA. 36 pages.

Pereira I.C.N., 2013 : *Estoque de biomassa e carbono florestal em unidades de paisagem na Amazônia: uma análise a partir da abordagem metodológica ecológica da paisagem*. Tese de Doutorado em Ciências. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. UFPA. Belém, PA, 179 pages.

Phillips O.L., Malhi Y., Higuchi N., Laurance W.F., Nunez P.V., Vasquez R.M., Laurance S.G., Ferreira L.V., Stern M., Brown S. and Graça J., 1998 : Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science*, V. 282, pp. 439 – 442.

Pieri C., 1989 : *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara*. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Montpellier, France, 443 pages.

Pinho M.V.M., 2008 : *Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável: O Mercado de Carbono*. Memória de Especialização, CDS, UnB, Brasília, DF, 92 pages.

Pinto E., Moutinho P., Rodrigues L., França O., Moreira F.G., Franco P. E Dietzsch L., 2009 : *Cartilha: Perguntas e Respostas Sobre Aquecimento Global*. Brasil. IPAM. 4ª Ed., Belém, PA, 53 pages.

Prado D.E., 2000 : Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. *Edinburg Journal of Botany*, V. 57, n. 3, pp. 437 – 461.

Prado H.do., 1991 : *Manejo dos Solos. Descrições pedológicas e suas implicações*. Ed. Nobel, Livraria Nobel, São Paulo, SP, 117 pages.

Projeto Suruí Carbono., 2010 : Consentimento livre, prévio e informado. In: *Atas da Associação Metareilá do Povo Indígena Suruí*, Rondônia, Brasília, DF, 40 pages.

Raich J.W. and Schlesinger W.H., 1992 : The Global Carbon Dioxide Flux in Soil Respiration and its Relationship to vegetation and Climate. *Review Tellus*, V. 44, pp. 81 – 99, Georgia, USA.

Resck D.V.S., Ferreira E.A.B., Figueiredo C.C. e Zinn Y.L. 2008. *Dinâmica da Matéria Orgânica no Cerrado*. In: Santos G.A., Silva L.S., Canellas L.P. e Camargo F.O. (Eds.). 2008. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª. Ed., Ed. Metrópole, Cap. 21, pp. 359 – 417, Porto Alegre, RS.

Resende M., Curi N., Ker J.C. e Resende S.B. de., 2011 : *Mineralogia de Solos Brasileiros. Interpretação e Aplicações*. 2ª Ed. Revisada e Ampliada. Ed. UFLA, Lavras, MG, 206 pages.

Resende M., Curi N., Resende S.B.de. e Correa G.F., 2007 : *Pedologia. Base para distinção de ambientes*. 5ª. Ed. Revisada, Reimpressa em 2009, Ed. UFLA, Lavras, MG, 322 pages.

Ribeiro S.C., 2007 : *Quantificação do Estoque da Biomassa e Análise Econômica da Implementação de Projetos Visando a Geração de Créditos de Carbono em Pastagens, Capoeira e Floresta Primária*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Florestal, UFV, Viçosa, MG, 139 pages.

Ribeiro P.S.E. e Villas Boas P.F., 2004 : Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Projeto Província Mineral de Alta Floresta (Promin Alta Floresta). *Geologia e Recursos Minerais da Folha São João da Barra – SC.21-V-D*, Brasília, DF, 130 pages.

Rita J.C.de.O., 2007 : *Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau no sul da Bahia*. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 66 pages.

Robert M. and Chenu C., 1991 : Interactions between soil minerals and microorganisms. In: Bollag J.M. and Stotzky G. (Eds.). *Soil Biochemistry* 7, pp. 307 – 393, Marcel Dekker, New York.

Rosa R., Sano E.E. e Rosendo J.dos.S., 2014 : Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. In: *Rev. Sociedade & Natureza*. UFU, 26 (2): 333 – 351, Uberlândia, MG.

Rosenblatt M., 1956 : Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *Annals of Mathematical Statistics*, v. 27, n. 3, pp. 832 – 837.

Rufino A.M.M., 2009 : *Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento de cerrado*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, SP, 71 pages.

Salha R. and Hazem El S.A., 2009 : On the Kernel Estimation of the Condition Mode. *Asian Journal of Mathematics and Statistics*, V. 2, pp. 1 – 8.

Sampaio I.C.G., 2008 : *Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira*. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais. UFPA, Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências, Belém, PA, 84 pages.

Sanquetta C.R., Mognon F., Dalla Corte A.P., Dall'Agnol F.S. e Maas G.C.B., 2012 Pagamento por Serviços Ambientais em Floresta Ombrófila Mista – Enfoque do Mecanismo REDD. In: Encontro Nacional da Ecoeco, IX, Brasília, DF, *Anais do.*, Brasília, DF, 12 pages.

Santilli M., Moutinho P., Schwartzman S., Nepstad D., Curran L. and Nobre C., 2000 : *Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay*. Brasil. IPAM, 3 pages.

Santos C.H.dos., 2008 : *Alterações no estoque de carbono, na dinâmica da matéria orgânica e dos atributos químicos e físicos induzidas por diferentes usos dos solos de Colorado do Oeste-RO*. Dissertação de Mestrado. FAMEV, UFMT, Cuiabá, MT, 77 pages.

Santos J.B.dos., 2010 : Carbono e nitrogênio em classes de solos com diferentes texturas e tempo de adoção do sistema plantio direto – espacialização e contribuição do sistema. Dissertação de Mestrado. Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias. UFPR. Curitiba, PR, 145 pages.

Sartre X.A.de., 2006 : *Fronts pionniers d'Amazonie. Les dynamiques paysannes au Brésil*. CNRS Éditions, Paris, Collection Espaces et Milieux, 223 pages.

Schobbenhaus C., Campos D.A., Derze G.R. e Asmus H.E. (Coords.), 1984 : *Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Brasil. DNPM. Escala 1: 250.000, Brasília, DF, 501 pages.

Schumacher M.V. e Witschoreck R., 2004 : *Inventário de carbono em povoamentos de Eucalyptus, spp., nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso"*. In: Sanquetta C.R., Balbinot R., Ziliotto M.A.B. (Eds.). *Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas*, AM Impressos, pp. 111 – 124, Curitiba, PR.

Sedjo R.A., 2001 : *From foraging to cropping: the transition to plantation forestry, and implications for wood supply and demand*. *Unasylva* 52 (2001/1), n. 204.

Seymour F., Kanninen M., Locatelli B., Murdiyarso D. E Verchot L., 2011 : *Simplemente REDD – Guia do CIFOR sobre Florestas, Mudanças Climáticas e REDD*. CIFOR-Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 37 pages.

Silva K.E.da., Souza C.R.de., Azevedo C.P.de. e Rossi L.M.B., 2015 : Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra firme na Amazônia Central. *Rev. Scientia Florestalis*, V. 43, n. 105, pp. 1 – 11, Piracicaba, SP.

Silveira L.P.da., 2013 : *Integração de modelo digital de elevação e imagens multiespectrais aplicada ao mapeamento do uso da terra na região de Guaxupé (MG)*. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Geografia. Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 29 pages.

Silveira F.G., Fonseca F., Silva P.L.S.C., Machado C.H.M. and Muniz J.A., 2011 : Cluster analysis applied to non linear regression models selection to growth curves of crossed lambs. *Rev. Ciência Rural*, V. 41, pp. 692 – 698, Santa Maria, RS.

Silverman B.W., 1986 : *Density estimation for statistics and data analysis (Monographs on statistics and applied probability)*. Springer-Sciences + Business Media, New York, USA, 175 pages.

Six J.C., Elliott E.T. and Paustian K., 2000 : Soil macro aggregate turnover and micro aggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochemistry*. 32, pp. 2099 – 2103.

Smith D.S., Huxman T.E., Zitzer S.F., Charlet T.N., Housman D.C., Coleman J.S., Fenstermaker L.K., Seemann J.R. and Nowak R.S., 2000 : Elevated CO₂ increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, V. 408, pp. 79 – 82.

Soil Conservation Service. USDA., 1960 : *Soil Survey. Henderson County Tennessee* : In : Cooperation with Tennessee Agricultural Experiment Station. Tennessee Valley Authority, Series 1954, n. 9, 75 pages.

Soil Survey Staff. USDA., 2006 : *Keys to Soil Taxonomy By Natural Resources Conservation Service*. Tenth Edition. Washington, D.C, USA, 341 pages.

Sombroek W.G., Nachtergaele F.O. and Hebel A., 1993: Amounts, dynamics and sequestering of carbon tropical and subtropical soil. *Ambio*, 22, 417 – 426.

Sotta E.D., Meir P., Malhi Y., Nobre A.D., Hodnetts M. and Grace J., 2004 : Soil CO₂ Efflux in a Forest in the Central Amazon. *Global Change Biology*, V. 10, pp. 601 – 617, Oxon, UK.

Souchiel E.L., Miranda C.C.do., Campello E.F.C., Silva E.M.R.da. e Saggin-Junior O.J., 2005 : Enriquecimento de Capoeira com Espécies Arbóreas na Região da Mata Atlântica. *Rev. Floresta e Ambiente*, V. 12, n. 1, pp. 01 – 06, Rio Verde, GO.

Souza F.S., 2007 : *Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e Créditos de Carbono: As Potencialidades do Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso. Bolsa de Mercadorias e Futuros, Fundação Instituto de Administração – FIA, São Paulo, SP, 81 pages.

Souza C.R.de., Azevedo C.P.de., Rossi L.M.B., Silva K.E.da., Santos J.dos. e Higuchi N., 2012 : Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. *Acta Amaz.*, V. 42, n. 4, pp. 501 – 506, Manaus, AM.

Souza J.O., Frasca A.A.S. e Oliveira C.C., 2005 : Projeto Província Mineral de Alta Floresta. Geologia e Recursos Minerais das Folhas Rio São João da Barra, Alta Floresta, Ilha 24 de Maio e Vila Guarita. Estados de Mato Grosso e Pará. Escala 1: 250.000. Brasil. CPRM/Serviço Geológico do Brasil. *Rel. Integrado*, page 159, Brasília, DF.

Souza J.O. e Abreu Filho W., 2007 : Programa Geologia do Brasil. Levantamentos Geológicos Básicos. Geologia e Recursos Minerais da Folha Tapauina, Escala 1: 250.000. Brasil. MME/CPRM/SICME. *Rel. Final*, Goiânia, GO, 86 pages.

Szakacs G.G.J., 2003 : *Sequestro de carbono nos solos. Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens*. Dissertação de Mestrado. Centro de Energia Nuclear de Agricultura. USP, São Paulo, SP, 128 pages.

Tarifa J.R. e Sette D.M., 2012 : O holorritmo, a ritmanálise e o(s) clima(s): uma contribuição metodológica. *Rev. Geonorte*, Edição Especial 2, V. 1, n. 5, pp. 655 – 666, Manaus, AM.

Telles E.D.C., Camargo P.B.de., Martinelli L.A., Trumbore S.E., Costa E. S.da., Santos J.N., Higuchi E.S. and Oliveira R.C., 2003 : Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemistry Cycles*, 17 (2), 1040.

Thery H., 2005 : “Situações da Amazônia no Brasil e no Continente”. Instituto de Estudos Avançados da USP. In: *Estudos Avançados*, V. 19, n. 53, pp. 37 – 49, São Paulo, SP.

Tisdall J.M. and Oades J.M., 1982 : Organic matter and water stable aggregates. *Journal Soil Science*, 33: 141 – 163.

Tito M.R., León M.C. e Porro R., 2009 : Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais. 1ª. Ed. Belém, Brasil. ICRAF – Centro Mundial Agroflorestal. *Consórcio Iniciativa Amazônica – IA, Manual Técnico* 11, 81 pages.

Tito M.R., Nunes P.C. e Vivan J. L., 2011 : Desenvolvimento Agroflorestal no Noroeste de Mato Grosso: dez anos contribuindo para a conservação e uso das florestas. BRASIL. PNUD. SEMA. ICRAF – Centro Mundial Agroflorestal. *Projeto Promoção da Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade nas Florestas de Fronteira do Noroeste de Mato Grosso (BRA/00/G31)*, Brasília, DF, 134 pages.

Tomé Junior J.B., 1997 : *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba, SP, Agropecuária, 247 pages.

Tongnon A.A., Demattê J.L.I. e Demattê J.A.M., 2002 : Teor e distribuição da matéria orgânica em latossolos das regiões da floresta Amazônica e dos Cerrados do Brasil central. *ESALQ. Scientia Agrícola*, V. 55, pp. 342 – 354, Piracicaba, SP.

Trindade E.F.da.S., Rodrigues T.E., Souza A.S.de., Silva J.M.L.da. e Corrêa P.C.S., 2006 : Estoque de carbono em áreas de capoeira de dendezeiro. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 27; Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 11; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 9; Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 6, Brasil. EMBRAPA Agropecuária, Bonito, MS. *Anais dos., CD/R. A busca das raízes*. Bonito, MS, 4 pages.

Trumbore S.E., Davidson E.A., Camargo P.B.de., Nepstad D.C. and Martinelli L.A., 1995 : Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochem. Cycles*, 9, 515 – 528.

Vargas L.N., 2006 : *Vale do Amanhecer. Retrato de um Assentamento: Modelo de Reforma Agrária para a Amazônia Mato-Grossense?* Dissertação de Mestrado. FAMEV, UFMT, Cuiabá, MT, 311 pages.

Verneyre L., 2007 : *Proposition de méthodologie d'évaluation des stocks de carbone des sols dans le Projet « Puits de Carbone PSA-ONF International » (Fazenda São Nicolau, Brésil)*. Mémoire pour obtention du Diplôme d'Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt, Nancy, France, 89 pages.

Von Mirbach M., 2003 : Forests, climate change and carbon reservoirs: opportunities for forest conservation. *A Sierra Club of Canada Discussion Paper*, Ottawa, 25 pages.

Walkley A. and Black I.A., 1934 : An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sciences*, n. 63, pp. 251 – 263.

Walter M.K.C. e Coltri P.P., 2009 : Geração de Créditos de Carbono por Sistemas Florestais. Brasil. EMBRAPA. *Rev. Da Madeira*, V. 20, n. 120, pp. 32 – 36, Curitiba, PR.

Walter M.J., Kohn S.C., Araujo D., Bulanova G.P., Smith C.B., Gaillou E., Wang J., Steele A. and Shirey S.B., 2011 : Dip mantle cycling of oceanic crust. Evidence from diamonds and their mineral inclusions. In: *Sciences Magazine*, V. 334, n. 6052, pp. 54 – 57, USA.

Wand M.P. and Jones M.C., 1995 : *Kernel Smoothing*. Springer-science + Business Media, New York, USA, 212 pages.

Wander M., 2004 : *Soil Organic Matter Fractions and their Relevance to Soil Function*. In: Magdoff F. and Weil R. (Eds.). *Advances in Agro ecology*. CRC Press, Boca Raton, pp. 67 – 102.

Word Resources Institute., 2005 : A Guide to Word Resources. *The Wealth of the Poor. Managing Geosystems to Figh Poverty*, USA, 28 pages.

Annexes

Sommaire

A. Resultats Analytiques Complets.....	254
A1. Analyses physico-chimiques pour le carbone et la matière organique.....	254
A1.1. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans l'aire de la Fazenda São Nicolau en Cotriguaçu.....	254
A1.2. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans les aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa en Juruena.....	255
A1.3. Tableau des classes de stock de carbone utilisées dans la cartographie.....	256
A2. Résultats généraux des analyses physico-chimiques des sols.....	256
A2.1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	256
A2.2. Résultats des analyses physico-chimiques des sols des aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	258
A3. Résultats de l'analyse de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X.....	260
A3.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	260
A3.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	261
A3.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	262
A4. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols des aires de la Fazenda São Nicolau, de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	263
A4.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	263
A4.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	264
A4.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	266
A5. Résultats analytiques de la diffraction par les rayons X des soixante dix-huit échantillons analysés sur le total de 279.....	267
A6. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone dans les sols collectés, dans la Fazenda São Nicolau, dans l'Assentamento Vale do Amanhecer et dans la Fazenda Preciosa.....	268

A6.1. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda São Nicolau.....	268
A6.2. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	269
A6.3. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda Preciosa.....	271
B. Types des espèces végétales prédominants et temps des sols dans les exploitations.....	272
C. Photos des équipements utilisés dans les analyses physico-chimiques.....	279
D. Photos des équipements utilisés dans les analyses spectrométriques par la fluorescence des rayons X et par la diffraction des rayons X.....	280
Sources Utilisées.....	283
Table de Figures.....	287
Table de Tableaux.....	292
Table de Photographies.....	295
Table des Matières.....	297

Annexes

Résultats analytiques complets

A1. Analyses physico-chimiques pour le carbone et la matière organique.

A1.1. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans l'aire de la Fazenda São Nicolau en Cotriguaçu – (Tableaux 10.1)

Fazenda São Nicolau				Fazenda São Nicolau			
Eléments/ Echantillons		Carbone dag kg ⁻¹	M.O. %	Eléments/ Echantillons		Carbone dag kg ⁻¹	M.O. %
P/CO-1	A	0,59	7,27		C	0,24	7,56
	B	0,59	8,36	P/CO-20	A	0,36	1,81
	C	0,55	4,32		B	0,07	2,52
P/CO-2	A	0,86	3,82		C	0,23	3,50
	B	1,33	6,06	P/CO-21	A	0,85	3,83
	C	0,77	5,88		B	0,88	5,96
P/CO-3	A	0,87	4,88		C	1,00	5,80
	B	0,39	3,88	P/CO-22	A	0,89	5,98
	C	0,77	3,91		B	1,46	9,27
P/CO-4	A	0,57	3,88		C	1,08	10,87
	B	0,48	5,07	P/CO-23	A	0,77	7,20
	C	0,90	3,86		B	0,67	6,74
P/CO-5	A	0,41	5,42		C	0,82	6,87
	B	1,19	4,01	P/CO-24	A	0,97	4,33
	C	0,73	3,28		B	0,60	5,28
P/CO-6	A	1,06	4,87		C	0,29	2,83
	B	0,81	6,34	P/CO-25	A	0,44	7,25
	C	0,30	4,86		B	0,72	9,33
P/CO-7	A	1,19	5,06		C	0,82	10,55
	B	0,82	3,27	P/CO-26	A	0,65	9,06
	C	0,69	3,63		B	1,29	6,40
P/CO-8	A	1,30	4,07		C	1,20	6,20
	B	1,28	4,66	P/CO-27	A	2,88	5,12
	C	0,92	3,14		B	2,90	5,05
P/CO-9	A	0,78	6,75		C	2,91	7,45
	B	0,72	6,17	P/CO-28	A	0,87	3,76
	C	1,01	5,31		B	0,73	6,50
P/CO-10	A	0,83	6,68		C	0,24	5,91
	B	1,21	6,80	P/CO-29	A	0,13	2,85
	C	1,31	7,34		B	0,17	2,92
P/CO-11	A	0,88	3,24		C	0,17	2,81
	B	0,70	3,08	P/CO-30	A	0,58	4,93
	C	0,32	2,43		B	0,61	6,18
P/CO-12	A	0,36	2,42		C	0,92	5,81
	B	0,60	2,91	P/CO-31	A	0,65	6,96
	C	0,68	3,38		B	1,61	8,06
P/CO-13	A	0,74	5,88		C	0,77	6,88
	B	1,22	5,41	P/CO-32	A	0,16	6,46
	C	0,86	5,21		B	0,66	9,01
P/CO-14	A	0,88	4,53		C	0,55	9,53
	B	0,56	5,39	P/CO-33	A	1,10	9,90
	C	0,47	3,53		B	0,67	9,59
P/CO-15	A	0,73	4,13		C	0,03	7,71
	B	0,67	3,45	P/CO-34	A	0,40	9,73
	C	0,93	4,08		B	0,93	9,94
P/CO-16	A	0,15	3,70		C	0,02	9,20
	B	0,33	3,71	P/CO-35	A	0,64	6,97
	C	0,42	2,51		B	0,37	5,90
P/CO-17	A	1,21	11,15		C	0,43	4,83
	B	1,39	11,89	P/CO-36	A	0,28	3,90
	C	1,18	9,99		B	0,33	4,41
P/CO-18	A	1,45	15,73		C	0,24	3,81
	B	1,24	12,63	P/CO-37	A	0,50	5,80
	C	1,41	9,66		B	0,12	5,86
P/CO-19	A	0,13	4,58		C	0,13	5,86
	B	0,83	6,51				

A1.2. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans les aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa en Juruena – (Tableaux 10.2).


Assentamento Vale do Amanhecer et Fazenda Preciosa											
Eléments/ Echantillons		Carbone dag kg ⁻¹	M.O. %	Eléments/ Echantillons		Carbone dag kg ⁻¹	M.O. %	Eléments/ Echantillons		Carbone dag kg ⁻¹	M.O. %
P/JU-1	A	0,43	1,20	P/JU-24	A	0,93	8,00	P/JU-47	A	0,50	4,93
	B	1,47	4,81		B	1,22	5,00		B	1,04	5,67
	C	0,80	7,91		C	0,62	5,34		C	0,40	6,27
P/JU-2	A	1,13	5,49	P/JU-25	A	1,40	7,25	P/JU-48	A	0,54	5,29
	B	1,42	5,73		B	0,60	9,33		B	0,94	3,57
	C	1,51	6,04		C	1,35	10,55		C	0,69	4,42
P/JU-3	A	1,36	12,89	P/JU-26	A	1,08	9,06	P/JU-49	A	0,76	3,07
	B	0,11	6,14		B	1,18	6,40		B	0,85	4,84
	C	1,05	4,60		C	1,16	6,20		C	0,58	4,39
P/JU-4	A	1,76	6,84	P/JU-27	A	1,25	5,12	P/JU-50	A	1,46	5,12
	B	1,68	7,41		B	0,50	5,05		B	0,85	4,84
	C	1,24	8,78		C	0,25	7,45		C	0,58	4,39
P/JU-5	A	1,78	4,67	P/JU-28	A	0,85	3,76	P/JU-51	A	1,17	7,54
	B	1,57	9,09		B	1,07	6,50		B	1,10	6,39
	C	2,42	9,40		C	0,79	5,91		C	0,24	7,86
P/JU-6	A	1,49	11,50	P/CO-29	A	0,29	5,53	P/JU-52	A	0,69	8,23
	B	0,65	6,56		B	1,23	4,68		B	1,95	4,61
	C	1,33	5,37		C	0,67	4,21		C	1,10	5,40
P/JU-7	A	1,66	6,76	P/CO-30	A	0,81	4,85	P/JU-53	A	1,15	4,16
	B	1,41	8,81		B	1,49	12,75		B	0,73	6,99
	C	1,51	8,18		C	1,37	12,45		C	1,40	6,04
P/JU-8	A	0,97	7,46	P/CO-31	A	0,48	12,60	P54/FL-JU	A	0,88	6,04
	B	1,34	6,47		B	0,97	5,50		B	1,04	6,69
	C	0,95	5,34		C	0,90	5,53		C	1,00	6,37
P/JU-9	A	1,00	5,25	P/CO-32	A	0,77	4,39	P55/FL-JU	A	1,69	6,58
	B	1,03	8,22		B	1,27	5,67		B	1,94	7,64
	C	1,41	8,59		C	0,72	5,67		C	2,27	6,95
P/JU-10	A	1,42	7,77	P/JU-33	A	0,37	4,82	P56/FL-JU	A	2,32	6,04
	B	1,26	4,52		B	1,22	4,49		B	2,33	13,28
	C	1,45	4,50		C	1,39	6,86		C	1,96	14,12
P/JU-11	A	1,30	4,66	P/JU-34	A	1,09	4,72				
	B	1,45	7,59		B	1,22	5,97				
	C	1,41	6,05		C	0,86	4,45				
P/JU-12	A	1,28	7,57	P/JU-35	A	1,66	3,44				
	B	0,87	3,22		B	0,77	6,63				
	C	1,09	2,96		C	0,89	6,55				
P/JU-13	A	0,68	3,50	P/JU-36	A	0,98	5,87				
	B	1,10	2,06		B	0,74	3,83				
	C	0,75	3,92		C	0,80	3,43				
P/JU-14	A	1,90	2,59	P/JU-37	A	1,34	2,87				
	B	1,44	11,91		B	0,70	5,92				
	C	1,58	11,79		C	0,86	5,74				
P/JU-15	A	2,52	11,47	P/JU-38	A	1,18	5,64				
	B	0,75	9,78		B	0,73	5,56				
	C	0,85	2,90		C	1,08	5,39				
P/JU-16	A	0,54	3,85	P/JU-39	A	0,56	5,94				
	B	1,30	2,87		B	0,61	7,43				
	C	0,48	3,10		C	1,12	7,97				
P/JU-17	A	1,10	2,21	P/JU-40	A	0,42	9,47				
	B	1,73	10,19		B	0,24	3,04				
	C	1,19	10,94		C	0,12	4,55				
P/JU-18	A	0,79	9,89	P/JU-41	A	0,52	3,44				
	B	0,99	9,56		B	0,14	3,87				
	C	1,19	9,27		C	0,00	3,71				
P/JU-19	A	2,22	8,80	P/JU-42	A	1,25	4,74				
	B	1,04	12,57		B	1,65	8,48				
	C	0,57	10,59		C	0,75	8,00				
P/JU-20	A	0,59	9,44	P/JU-43	A	1,28	7,01				
	B	0,55	4,21		B	0,94	7,96				
	C	0,43	8,17		C	0,33	8,81				
P/JU-21	A	1,81	5,20	P/JU-44	A	0,60	6,76				
	B	1,44	10,84		B	0,96	5,86				
	C	1,59	11,80		C	0,86	11,32				
P/JU-22	A	0,24	10,94	P/JU-45	A	0,65	5,99				
	B	1,27	8,43		B	0,85	9,88				
	C	1,34	5,57		C	1,49	10,20				
P/JU-23	A	1,88	5,87	P/JU-46	A	1,37	10,20				
	B	0,75	7,92		B	2,27	8,41				
	C	0,29	8,69		C	0,28	9,95				


A1.3. Tableau des classes de stock de carbone utilisées dans la cartographie – (Tableau 10.3.).


Classes stock de carbone utilisées dans la cartographie (Chapitre 8 § 8.3)


Assentamento Vale do Amanhecer		Fazenda São Nicolau		Fazenda Preciosa	
Classes	Valeurs (kg/m ²)	Classes	Valeurs (kg/m ²)	Classes	Valeurs kg/m ²)
A	0,37 – 1,67	A	0,04 – 0,80	A	0,01 – 1,25
B	1,67 – 2,54	B	0,80 – 1,45	B	1,25 – 2,09
C	2,54 – 3,13	C	1,45 – 2,01	C	2,09 – 2,23
D	3,13 – 3,52	D	2,01 – 2,49	D	2,23 – 2,57
E	3,52 – 3,78	E	2,49 – 3,05	E	2,57 – 2,84
F	3,78 – 4,18	F	3,05 – 3,70	F	2,84 – 3,26
G	4,18 – 4,76	G	3,70 – 4,47	G	3,26 – 3,66
H	4,76 – 5,64	H	4,47 – 5,36	H	3,66 – 5,34
I	5,64 – 6,94				
J	6,94 – 8,89				

Légende :

 Teneurs faibles

 Teneurs modérées

 Teneurs moyennes

 Teneurs élevées

A2. Résultats généraux des analyses physico-chimiques des sols

A2.1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau – (Tableaux 10.4).

Eléments/ Echantillons.		pH / CaCl ₂	Al	H+Al cmol/dm ³	Ca+Mg	K	SB	TpH7,0 cmolc/dm ³	t effective	V	m	P	M.O.	C	Argile	Limon	Sable
						mg/dm ³				%		mg/dm ³	%	%		%	
P/CO-1	A	3,51	0,83	3,23	2,60	6,00	2,62	5,84	3,45	44,78	24,09	2,39	7,27	0,59	36,6	2,2	61,2
	B	3,65	0,83	3,23	2,40	5,77	2,41	5,64	3,24	42,82	25,58	2,06	8,36	0,59	36,6	5,6	57,8
	C	3,91	0,52	2,33	2,00	2,49	2,01	4,33	2,53	46,32	20,58	1,12	4,32	0,55	19,9	5,6	74,5
P/CO-2	A	4,20	0,29	2,25	4,80	7,79	4,82	7,07	5,11	68,18	5,68	2,18	3,82	0,86	16,6	2,2	81,2
	B	4,05	0,26	3,23	6,20	0,55	6,20	9,43	6,46	65,79	4,02	6,73	6,06	1,33	13,2	2,2	84,6
	C	3,98	0,32	2,10	3,90	4,29	3,91	6,01	4,23	65,06	7,56	1,64	5,88	0,77	13,2	5,6	81,2
P/CO-3	A	3,20	1,21	3,17	3,20	2,81	3,21	6,37	4,42	50,33	27,39	1,47	4,88	0,87	19,9	8,9	71,2
	B	3,34	1,00	3,38	2,30	3,66	2,31	5,68	3,31	40,63	30,22	1,93	3,88	0,39	9,9	12,3	77,8
	C	3,98	0,98	3,08	1,30	2,42	1,31	4,38	2,29	29,81	42,87	1,72	3,91	0,77	13,2	8,9	77,8
P/CO-4	A	4,04	0,66	2,94	1,10	3,27	1,11	4,05	1,77	27,38	37,32	2,06	3,88	0,57	19,9	2,3	77,8
	B	4,34	0,43	2,40	2,00	3,43	2,01	4,41	2,44	45,56	17,63	2,92	5,07	0,48	23,2	5,6	71,2
	C	4,59	0,26	2,18	2,40	2,10	2,41	4,58	2,67	52,52	9,75	1,67	3,86	0,90	19,9	5,6	74,5
P/CO-5	A	4,70	0,26	1,95	2,10	10,13	2,13	4,08	2,39	52,16	10,90	1,37	5,42	0,41	13,2	12,2	74,5
	B	5,35	0,31	1,91	4,30	8,57	4,32	6,23	4,63	69,41	6,69	3,11	4,01	1,19	13,2	2,2	84,5
	C	4,64	0,22	2,00	2,70	5,92	2,72	4,71	2,94	57,64	7,50	1,72	3,28	0,73	13,2	2,2	84,5
P/CO-6	A	4,35	0,35	2,63	6,70	5,38	6,71	9,34	7,06	71,89	4,95	2,34	4,87	1,06	19,9	2,3	77,8
	B	4,04	0,60	2,70	2,20	5,77	2,21	4,91	2,81	45,06	21,32	1,39	6,34	0,81	26,6	5,6	67,8
	C	4,12	0,45	2,55	2,60	0,62	2,60	5,15	3,05	50,50	14,75	1,44	4,86	0,30	19,9	2,3	77,8
P/CO-7	A	3,88	0,23	3,20	5,20	0,55	5,20	8,40	5,43	61,95	4,23	4,65	5,06	1,19	13,2	8,9	77,8
	B	5,02	0,31	2,25	4,40	5,21	4,41	6,66	4,72	66,23	6,56	2,26	3,27	0,82	9,9	5,6	84,5
	C	4,93	0,35	2,57	7,20	4,63	7,21	9,78	7,56	73,76	4,63	1,67	3,63	0,69	13,2	2,2	84,5
P/CO-8	A	4,42	0,26	3,80	6,10	7,94	6,12	9,92	6,38	61,73	4,07	2,87	4,07	1,30	6,6	2,2	91,2
	B	4,45	0,37	2,93	4,20	1,16	4,20	7,13	4,57	58,96	8,09	2,58	4,66	1,28	9,9	5,6	84,5

P/CO-9	C	5,30	0,35	0,90	4,30	5,88	4,32	5,22	4,67	82,74	7,50	2,18	3,14	0,92	9,9	5,6	84,5
	A	4,12	0,34	2,10	2,70	2,65	2,71	4,81	3,05	56,31	11,16	0,99	6,75	0,78	36,6	2,2	61,2
	B	3,85	0,90	2,76	1,80	3,81	1,81	4,57	2,71	39,60	33,21	0,94	6,17	0,72	33,2	2,2	64,5
P/CO-10	C	3,98	0,76	3,35	2,90	6,12	2,92	6,26	3,68	46,57	20,68	2,47	5,31	1,01	28,8	0	71,2
	A	4,00	0,42	2,78	3,00	4,97	3,01	5,79	3,43	52,05	12,24	1,59	6,68	0,83	23,2	5,6	71,2
	B	3,86	1,40	2,81	3,50	4,72	3,51	6,32	4,91	55,60	28,50	1,59	6,80	1,21	29,9	5,6	64,5
P/CO-11	C	4,20	0,13	2,85	1,60	1,49	1,60	4,45	1,73	36,01	7,50	1,02	7,34	1,31	36,6	2,2	61,2
	A	4,06	0,15	2,48	1,20	4,63	1,21	3,69	1,36	32,87	11,01	2,29	3,24	0,88	9,9	8,9	81,2
	B	4,57	0,07	2,10	1,80	2,40	1,81	3,91	1,88	46,24	3,73	13,80	3,08	0,70	6,6	2,2	91,2
P/CO-12	C	4,13	0,05	1,41	0,90	2,48	0,91	2,32	0,96	39,13	5,23	2,11	2,43	0,32	5,5	0	94,5
	A	4,44	0,04	1,40	1,20	2,90	1,21	2,60	1,25	46,40	3,21	1,12	2,42	0,36	9,9	2,3	87,8
	B	4,12	0,08	1,50	1,10	3,81	1,11	2,61	1,19	42,52	6,72	1,29	2,91	0,60	6,6	2,2	91,2
P/CO-13	C	4,01	0,10	1,65	1,30	2,65	1,31	2,96	1,41	44,20	7,11	0,92	3,38	0,68	9,9	8,9	81,2
	A	4,30	0,19	3,15	2,30	3,97	2,31	5,46	2,50	42,31	7,60	1,62	5,88	0,74	19,9	12,3	67,8
	B	4,16	0,10	3,90	3,60	6,12	3,62	7,52	3,72	48,11	2,69	3,22	5,41	1,22	19,9	8,9	71,2
P/CO-14	C	4,20	0,15	2,25	2,10	3,56	2,11	4,36	2,26	48,38	6,64	1,34	5,21	0,86	16,6	8,9	74,5
	A	4,12	0,14	2,63	3,70	6,12	3,72	6,34	3,86	58,60	3,63	1,27	4,53	0,88	13,2	8,9	77,8
	B	4,53	0,20	3,15	3,30	5,21	3,31	6,46	3,51	51,26	5,69	1,19	5,39	0,56	19,9	5,6	74,5
P/CO-15	C	4,38	0,14	2,33	1,60	4,47	1,61	3,94	1,75	40,94	7,99	1,19	3,53	0,47	13,2	12,2	74,5
	A	4,11	0,20	1,95	1,30	2,65	1,31	3,26	1,51	40,13	13,27	1,17	4,13	0,73	16,6	2,2	81,2
	B	4,05	0,16	1,50	1,00	2,65	1,01	2,51	1,17	40,16	13,71	0,99	3,45	0,67	16,6	5,6	77,8
P/CO-16	C	4,34	0,07	1,65	1,90	2,48	1,91	3,56	1,98	53,60	3,54	1,34	4,08	0,93	13,2	8,9	77,8
	A	4,27	0,08	1,71	1,50	1,90	1,50	3,21	1,58	46,81	5,05	1,49	3,70	0,15	13,2	5,6	81,2
	B	3,77	0,13	1,74	0,80	2,90	0,81	2,55	0,94	31,70	13,87	1,24	3,71	0,33	13,2	5,6	81,2
P/CO-17	C	4,04	0,14	1,98	0,90	3,06	0,91	2,89	1,05	31,44	13,36	1,42	2,51	0,42	6,6	5,6	87,8
	A	3,44	0,70	4,80	1,30	5,13	1,31	6,11	2,01	21,48	34,77	1,80	11,15	1,21	36,6	8,9	54,5
	B	3,73	0,25	5,03	2,10	6,62	2,12	7,14	2,37	29,64	10,56	1,59	11,89	1,39	53,2	2,2	44,5
P/CO-18	C	3,66	0,40	3,90	1,50	2,98	1,51	5,41	1,91	27,88	20,97	1,77	9,99	1,18	53,2	8,9	37,8
	A	4,18	0,20	3,90	3,40	5,13	3,41	7,31	3,61	46,67	5,54	1,80	15,73	1,45	59,9	8,9	31,2
	B	3,55	0,45	4,35	1,30	2,81	1,31	5,66	1,76	23,11	25,61	1,64	12,63	1,24	53,2	5,6	41,2
P/CO-19	C	3,36	0,63	5,18	1,30	6,79	1,32	6,49	1,95	20,29	32,35	1,37	9,66	1,41	46,6	8,9	44,5
	A	4,00	0,15	1,77	0,80	2,40	0,81	2,58	0,96	31,29	15,69	0,97	4,58	0,13	26,6	2,2	71,2
	B	3,32	0,57	3,11	0,60	2,57	0,61	3,71	1,18	16,34	48,45	2,90	6,51	0,83	36,9	0	63,1
P/CO-20	C	3,78	0,17	2,09	1,20	2,98	1,21	3,29	1,38	36,68	12,34	1,34	7,56	0,24	43,6	3,3	53,1
	A	4,62	0,15	1,28	1,50	3,48	1,51	2,78	1,66	54,20	9,04	2,06	1,81	0,36	6,9	6,7	86,4
	B	4,16	0,14	1,76	1,40	2,81	1,41	3,16	1,55	44,50	9,05	5,65	2,52	0,07	6,9	3,3	89,8
P/CO-21	C	3,63	0,25	2,25	0,80	1,49	0,80	3,05	1,05	26,32	23,72	1,22	3,50	0,23	16,9	6,7	76,4
	A	3,97	0,23	3,68	3,50	4,06	3,51	7,19	3,74	48,85	6,15	1,90	3,83	0,85	16,9	3,3	79,8
	B	4,03	0,90	3,38	2,10	3,31	2,11	5,48	3,01	38,45	29,92	1,98	5,96	0,88	26,9	3,3	69,8
P/CO-22	C	5,01	0,55	3,08	2,45	4,63	2,46	5,54	3,01	44,46	18,26	2,37	5,80	1,00	20,2	3,4	76,4
	A	4,48	0,25	2,70	1,85	0,74	1,85	4,55	2,10	40,68	11,89	0,00	5,98	0,89	20,2	10,0	69,8
	B	4,22	0,78	3,00	1,10	0,66	1,10	4,10	1,88	26,86	41,45	0,00	9,27	1,46	36,9	3,3	59,8
P/CO-23	C	4,10	0,40	2,96	0,90	0,41	0,90	3,86	1,30	23,37	30,74	1,90	10,87	1,08	36,9	6,7	56,4
	A	4,35	0,21	2,70	1,06	0,58	1,06	3,76	1,27	28,22	16,52	19,15	7,20	0,77	30,2	6,7	63,1
	B	4,24	0,13	2,81	1,05	0,41	1,05	3,86	1,18	27,26	11,01	1,47	6,74	0,67	26,9	6,7	66,4
P/CO-24	C	4,32	0,20	3,30	1,03	1,32	1,03	4,33	1,23	23,85	16,22	18,68	6,87	0,82	36,9	3,3	59,8
	A	4,32	0,16	2,06	1,02	0,33	1,02	3,08	1,18	33,19	13,55	22,21	4,33	0,97	16,9	3,3	79,8
	B	4,01	0,25	2,10	1,01	0,41	1,01	3,11	1,26	32,50	19,82	5,83	5,28	0,60	16,9	6,7	76,4
P/CO-25	C	4,04	0,19	1,92	1,00	0,66	1,00	2,92	1,19	34,28	15,94	0,94	2,83	0,29	6,9	6,7	86,4
	A	4,26	1,70	5,99	0,50	0,41	0,50	6,49	2,20	7,73	77,24	0,38	7,25	1,40	37,6	7,4	55,0
	B	4,76	0,30	3,66	4,05	2,15	4,06	7,72	4,36	52,56	6,89	2,26	9,33	0,60	31,0	7,4	61,6
P/CO-26	C	4,11	0,29	3,51	2,40	0,41	2,40	5,91	2,69	40,62	10,78	1,07	10,55	1,35	34,3	7,4	58,3
	A	4,95	0,21	2,76	2,50	2,90	2,51	5,27	2,72	47,60	7,73	0,55	9,06	1,08	24,3	14,0	61,6
	B	5,94	0,05	1,64	3,00	0,83	3,00	4,64	3,05	64,74	1,64	1,14	6,40	1,18	24,3	10,7	65,0
P/CO-27	C	4,67	0,76	3,15	1,80	0,41	1,80	4,95	2,56	36,38	29,68	0,70	6,20	1,16	21,0	4,1	75,0
	A	4,24	1,40	4,05	1,00	0,50	1,00	5,05	2,40	19,82	58,30	1,54	5,12	1,25	17,6	7,4	75,0
	B	3,98	1,90	4,04	0,60	0,41	0,60	4,64	2,50	12,96	75,97	1,19	5,05	0,50	21,0	7,4	71,6
P/CO-28	C	4,12	1,69	4,50	0,60	0,25	0,60	5,10	2,29	11,78	73,78	1,59	7,45	0,25	21,0	4,1	75,0
	A	4,80	0,75	3,26	1,20	0,66	1,20	4,46	1,95	26,96	38,43	1,12	3,76	0,85	24,3	7,4	68,3
	B	4,65	1,11	3,74	1,10	0,41	1,10	4,84	2,21	22,77	50,20	2,06	6,50	1,07	27,6	12,2	60,2
P/CO-29	C	4,36	1,20	3,35	1,20	0,91	1,20	4,55	2,40	26,44	49,95	1,39	5,91	0,79	24,3	12,2	63,5
	A	4,55	0,10	0,77	1,04	0,33	1,04	1,81	1,14	57,64	8,77	20,52	2,85	0,13	3,6	16,6	79,8
	B	4,57	0,10	1,02	1,08	1,08	1,08	2,10	1,18	51,49	8,45	5,83	2,92	0,17	3,6	6,6	89,8
P/CO-30	C	3,87	0,20	1,26	1,00	0,50	1,00	2,26	1,20	44,28	16,65	1,85	2,81	0,17	3,6	6,6	89,8
	A	4,19	0,10	2,16	1,56	0,58	1,56	3,72	1,66	41,96	6,02	15,79	4,93	0,58	16,9	3,3	79,8
	B	4,25	0,19	1,92	2,30	0,99	2,30	4,22	2,49	54,53	7,62	0,00	6,18	0,61	23,6	6,6	69,8
P/CO-31	C	4,22	0,17	2,36	2,60	1,32	2,60	4,96									

A2.2. Résultats des analyses physico-chimiques des sols des aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa – Tableaux 10.5).

Elements/ Echantillons		pH	Al	H+Al	Ca+Mg	K	SB	TpH7,0	t effective	V	m	P	M.O.	C	Argile	Limon	Sable
		CaCl ₂	cmol/dm ³			mg/dm ³	cmol/dm ³		%		mg/dm ³	%	%	%	%	%	%
P/JU-1	A	4.63	0,10	1,55	2,70	0,50	2,70	4,25	2,80	63,62	3,57	1,02	1,20	0,43	22,2	3,3	74,5
	B	5,10	0,10	1,62	3,40	5,38	3,41	5,03	3,51	67,82	2,85	2,39	4,81	1,47	28,8	3,4	67,8
	C	3,99	0,15	2,25	2,20	0,25	2,20	4,45	2,35	49,45	6,38	2,11	7,91	0,80	22,2	6,6	71,2
P/JU-2	A	4,55	0,12	1,52	2,60	0,50	2,60	4,12	2,72	63,19	4,41	0,77	5,49	1,13	12,2	10,0	77,8
	B	4,30	0,11	2,33	2,90	0,50	2,90	5,23	3,01	55,51	3,65	1,34	5,73	1,42	15,5	10,0	74,5
	C	4,69	0,15	4,26	7,70	1,41	7,70	11,96	7,85	64,39	1,91	6,45	6,04	1,51	12,2	3,3	84,5
P/JU-3	A	4,63	0,10	1,79	3,70	0,17	3,70	5,49	3,80	67,46	2,63	0,65	12,89	1,36	25,5	3,3	71,2
	B	4,43	0,13	1,40	2,70	0,33	2,70	4,10	2,83	65,94	4,59	0,29	6,14	0,11	18,8	3,4	77,8
	C	4,56	0,10	2,04	3,70	0,74	3,70	5,74	3,80	64,47	2,63	3,97	4,60	1,05	8,8	3,4	87,8
P/JU-4	A	4,17	0,10	2,70	3,60	0,33	3,60	6,30	3,70	57,15	2,70	0,41	6,84	1,76	35,5	6,7	57,8
	B	4,78	0,03	2,22	5,60	0,74	5,60	7,82	5,63	71,62	0,53	1,80	7,41	1,68	35,5	3,3	61,2
	C	4,54	0,04	1,83	3,30	0,41	3,30	5,13	3,34	64,33	1,20	2,08	8,78	1,24	22,2	6,6	71,2
P/JU-5	A	3,70	0,15	2,25	1,70	0,33	1,70	3,95	1,85	43,05	8,10	0,48	4,67	1,78	45,5	3,3	51,2
	B	5,79	0,15	0,50	5,00	3,89	5,01	5,50	5,16	91,01	2,91	3,14	9,09	1,57	52,2	3,3	44,5
	C	5,37	0,20	1,38	7,30	1,08	7,30	8,68	7,50	84,11	2,67	1,32	9,40	2,42	45,5	20,0	34,5
P/JU-6	A	4,12	0,11	1,31	1,40	1,66	1,40	2,71	1,51	51,83	7,26	0,17	11,50	1,49	28,8	23,4	47,8
	B	4,12	0,15	1,34	1,30	1,82	1,30	2,64	1,45	49,43	10,31	0,17	6,56	0,65	25,5	3,3	71,2
	C	4,30	0,06	1,68	2,10	0,25	2,10	3,78	2,16	55,56	2,78	1,42	5,37	1,33	25,5	23,3	51,2
P/JU-7	A	3,08	1,85	5,51	0,50	0,74	0,50	6,01	2,35	8,36	78,66	0,77	6,76	1,66	35,5	3,3	61,2
	B	3,07	1,82	5,13	0,60	0,33	0,60	5,73	2,42	10,48	75,18	0,72	8,81	1,41	42,2	6,6	51,2
	C	3,19	1,81	4,23	0,60	0,33	0,60	4,83	2,41	12,44	75,08	1,37	8,18	1,51	35,5	10,0	54,5
P/JU-8	A	4,55	0,19	1,38	3,70	2,07	3,71	5,09	3,90	72,86	4,88	0,92	7,46	0,97	28,8	23,4	47,8
	B	4,42	0,18	0,99	3,30	3,64	3,31	4,30	3,49	76,97	5,16	0,31	6,47	1,34	28,8	23,4	47,8
	C	3,44	0,70	3,00	1,20	0,50	1,20	4,20	1,90	28,59	36,82	1,70	5,34	0,95	22,2	23,3	54,5
P/JU-9	A	3,45	0,92	3,06	0,70	0,50	0,70	3,76	1,62	18,64	56,75	0,17	5,25	1,00	42,2	3,3	54,5
	B	3,47	0,67	3,57	1,40	0,17	1,40	4,97	2,07	28,18	32,36	0,17	8,22	1,03	42,2	3,3	54,5
	C	3,39	0,95	3,08	0,60	0,17	0,60	3,68	1,55	16,34	61,27	1,04	8,59	1,41	42,2	6,6	51,2
P/JU-10	A	4,07	0,20	1,77	2,50	0,91	2,50	4,27	2,70	58,57	7,40	0,17	7,77	1,42	25,5	13,3	61,2
	B	3,83	0,33	1,92	1,40	0,99	1,40	3,32	1,73	42,21	19,05	0,45	4,52	1,26	25,5	13,3	61,2
	C	3,46	0,68	2,88	1,50	1,99	1,51	4,39	2,19	34,32	31,12	1,75	4,50	1,45	25,5	16,7	57,8
P/JU-11	A	2,99	1,71	4,22	0,40	0,33	0,40	4,62	2,11	8,68	81,01	0,31	4,66	1,30	45,5	6,7	47,8
	B	3,19	1,15	4,17	1,20	0,25	1,20	5,37	2,35	22,36	48,92	0,17	7,59	1,45	37,6	4,0	58,3
	C	2,98	1,72	4,95	1,60	0,58	1,60	6,55	3,32	24,44	51,78	1,27	6,05	1,41	37,6	7,4	55,0
P/JU-12	A	4,60	0,22	0,47	2,40	0,08	2,40	2,87	2,62	83,77	8,40	0,26	7,57	1,28	11,0	4,1	85,0
	B	4,60	0,16	0,89	2,70	0,50	2,70	3,59	2,86	75,32	5,59	0,26	3,22	0,87	7,6	7,4	85,0
	C	5,33	0,10	0,12	3,30	0,50	3,30	3,42	3,40	96,49	2,94	1,34	2,96	1,09	4,3	7,4	88,3
P/JU-13	A	4,57	0,10	0,63	2,00	0,17	2,00	2,63	2,10	76,05	4,76	3,60	3,50	0,68	7,6	4,0	88,3
	B	4,85	0,12	0,78	2,70	0,99	2,70	3,48	2,82	77,60	4,25	1,49	2,06	1,10	14,3	4,0	81,6
	C	4,58	0,13	0,56	2,10	0,83	2,10	2,66	2,23	79,11	5,82	2,24	3,92	0,75	4,3	4,0	91,6
P/JU-14	A	4,20	1,19	5,73	1,20	0,74	1,20	6,93	2,39	17,34	49,75	3,60	2,59	1,90	51,0	7,4	41,6
	B	4,27	1,16	5,24	1,40	0,08	1,40	6,64	2,56	21,10	45,31	1,29	11,91	1,44	51,0	7,4	41,6
	C	4,30	1,20	4,71	2,00	0,33	2,00	6,71	3,20	29,82	37,49	2,08	11,79	1,58	51,0	7,4	41,6
P/JU-15	A	5,36	0,10	2,40	8,70	0,66	8,70	11,10	8,80	78,38	1,14	26,15	11,47	2,52	14,3	7,4	78,3
	B	5,47	0,10	1,40	2,70	0,17	2,70	4,10	2,80	65,94	3,57	2,39	9,78	0,75	4,3	4,0	91,6
	C	5,22	0,12	1,53	2,90	0,17	2,90	4,43	3,02	65,47	3,97	4,65	2,90	0,85	4,3	7,4	88,3
P/JU-16	A	4,44	0,25	1,64	2,00	0,17	2,00	3,64	2,25	55,03	11,11	2,63	3,85	0,54	4,3	7,4	88,3
	B	4,81	0,19	1,01	1,90	0,08	1,90	2,91	2,09	65,41	9,09	1,07	2,87	1,30	11,0	4,1	85,0
	C	4,52	0,20	1,49	2,20	0,08	2,20	3,69	2,40	59,70	8,33	4,02	3,10	0,48	4,3	4,0	91,6
P/JU-17	A	4,52	0,56	2,94	2,10	0,25	2,10	5,04	2,66	41,67	21,05	0,77	2,21	1,10	47,6	4,0	48,3
	B	3,90	1,00	5,03	2,10	0,33	2,10	7,13	3,10	29,48	32,25	0,67	10,19	1,73	47,6	4,0	48,3
	C	4,20	0,85	3,77	2,20	1,08	2,20	5,97	3,05	36,91	27,84	0,65	10,94	1,19	47,6	7,4	45,0
P/JU-18	A	5,38	3,00	1,52	3,20	2,57	3,21	4,72	6,21	67,91	48,34	0,33	9,89	0,79	41,0	4,1	55,0
	B	4,53	0,29	2,88	2,80	0,83	2,80	5,68	3,09	49,31	9,38	1,34	9,56	0,99	34,3	4,0	61,6
	C	4,65	0,15	2,24	2,60	0,74	2,60	4,84	2,75	53,79	5,45	0,62	9,27	1,19	31,0	7,4	61,6
P/JU-19	A	4,93	0,10	3,17	5,80	0,91	5,80	8,97	5,90	64,71	1,69	1,32	8,80	2,22	37,6	7,4	55,0
	B	5,06	0,10	1,95	2,70	3,23	2,71	4,66	2,81	58,14	3,56	0,70	12,57	1,04	47,6	4,0	48,3
	C	5,17	0,65	3,44	1,80	0,41	1,80	5,24	2,45	34,40	26,52	0,00	10,59	0,57	44,3	7,4	48,3
P/JU-20	A	5,33	1,10	2,84	0,60	0,25	0,60	3,44	1,70	17,48	64,68	0,89	9,44	0,59	17,6	7,4	75,0
	B	5,13	0,70	4,79	2,80	0,50	2,80	7,59	3,50	36,93	19,99	2,63	4,21	0,55	27,6	4,0	68,3
	C	5,29	0,42	2,81	2,30	0,41	2,30	5,11	2,72	45,07	15,44	0,67	8,17	0,43	21,0	7,4	71,6
P/JU-21	A	4,67	1,85	5,46	1,00	0,17	1,00	6,46	2,85	15,49	64,90	0,77	5,20	1,81	24,3	4,0	71,6
	B	4,03	1,70	5,67	1,40	0,17	1,40	7,07	3,10	19,81	54,83	2,34	10,84	1,44	41,0	14,1	45,0
	C	4,05	1,10	5,46	1,90	0,17	1,90	7,36	3,00	25,82	36,66	0,62	11,80	1,59	41,0	7,4	51,6
P/JU-22	A	4,44	0,70	5,31	2,70	0,83	2,70	8,01	3,40	33,73	20,58	2,34	10,94	0,24	21,0	4,1	75,0
	B	4,55	0,72	5,04	3,10	0,50	3,10	8,14	3,82	38,09	18,84	0,67	8,43	1,27	24,3	7,4	68,3
	C	4,07	1,82	4,41	1,00	0,66	1,00	5,41	2,82	18,51	64,50	1,32	5,57	1,34	24,3	4,0	71,6
P/JU-23	A	5,09	0,20	2,33	3,80	0,66	3,80	6,13	4,00	62							

P/JU-30	C	4,34	1,35	4,89	1,60	0,17	1,60	6,49	2,95	24,66	45,76	0,58	4,21	0,67	27,6	8,8	63,5
	A	4,80	1,20	5,25	0,90	0,33	0,90	6,15	2,10	14,65	57,12	0,00	4,85	0,81	67,6	5,5	26,9
	B	4,14	0,72	4,13	1,80	1,32	1,80	5,93	2,52	30,42	28,53	0,77	12,75	1,49	61,0	12,2	26,9
	C	5,23	0,28	2,18	5,40	2,07	5,41	7,58	5,69	71,31	4,92	0,70	12,45	1,37	57,6	5,5	36,9
P/JU-31	A	5,89	0,50	2,48	7,40	0,08	7,40	9,88	7,90	74,94	6,33	1,09	12,60	0,48	24,3	8,8	66,9
	B	5,10	0,32	1,80	6,20	0,33	6,20	8,00	6,52	77,50	4,91	0,38	5,50	0,97	14,3	5,5	80,2
	C	5,33	0,19	1,13	8,20	0,17	8,20	9,33	8,39	87,94	2,26	2,50	5,53	0,90	7,6	12,2	80,2
P/JU-32	A	4,19	1,32	3,05	1,30	4,97	1,31	4,36	2,63	30,12	50,14	2,29	4,39	0,77	31,0	15,5	53,5
	B	3,99	2,00	3,68	1,00	3,23	1,01	4,68	3,01	21,53	66,48	2,66	5,67	1,27	27,6	12,2	60,2
	C	4,17	0,36	2,18	2,50	6,21	2,52	4,69	2,88	53,63	12,52	1,09	5,67	0,72	24,3	15,5	60,2
P/JU-33	A	4,74	0,30	1,16	2,90	3,72	2,91	4,06	3,21	71,58	9,35	1,09	4,82	0,37	17,6	12,2	70,2
	B	4,45	0,22	1,80	2,30	4,14	2,31	4,11	2,53	56,21	8,69	4,53	4,49	1,22	31,0	5,5	63,5
	C	4,17	0,35	2,72	3,50	4,06	3,51	6,23	3,86	56,39	9,07	4,56	6,86	1,39	4,3	2,2	93,5
P/JU-34	A	4,68	0,15	2,28	2,50	6,12	2,52	4,80	2,67	52,46	5,63	1,62	4,72	1,09	21,0	5,5	73,5
	B	4,52	0,25	1,50	2,90	4,22	2,91	4,41	3,16	65,99	7,91	3,91	5,97	1,22	4,3	8,8	86,9
	C	3,82	0,44	1,20	3,00	5,79	3,01	4,21	3,45	71,53	12,74	4,08	4,45	0,86	4,3	5,5	90,2
P/JU-35	A	3,93	0,46	3,35	3,50	3,97	3,51	6,86	3,97	51,20	11,59	2,71	3,44	1,66	27,6	8,8	63,5
	B	4,08	0,40	2,45	3,20	5,05	3,21	5,66	3,61	56,79	11,07	1,49	6,63	0,77	24,3	5,5	70,2
	C	3,94	0,57	1,88	3,10	1,41	3,10	4,98	3,67	62,34	15,52	2,60	6,55	0,89	24,3	12,2	63,5
P/JU-36	A	4,67	0,20	1,80	9,00	1,66	9,00	10,80	9,20	83,34	2,17	2,76	5,87	0,98	4,3	8,8	86,9
	B	4,30	0,20	1,13	7,50	2,65	7,51	8,63	7,71	86,97	2,60	1,34	3,83	0,74	11,0	8,8	80,2
	C	3,85	0,25	1,58	1,20	1,57	1,20	2,78	1,45	43,33	17,19	3,03	3,43	0,80	4,3	12,2	83,5
P/JU-37	A	3,70	0,15	3,27	1,80	2,48	1,81	5,08	1,96	35,58	7,67	3,14	2,87	1,34	31,0	8,8	60,2
	B	4,62	0,20	3,69	1,10	4,72	1,11	4,80	1,31	23,16	15,24	1,09	5,92	0,70	24,3	8,8	66,9
	C	3,77	1,05	3,65	2,40	1,66	2,40	6,05	3,45	39,74	30,40	3,52	5,74	0,86	27,6	8,8	63,5
P/JU-38	A	4,33	0,21	1,80	8,40	1,49	8,40	10,20	8,61	82,36	2,44	1,14	5,64	1,18	14,3	8,8	76,9
	B	4,20	1,35	1,95	1,20	1,66	1,20	3,15	2,55	38,18	52,85	2,13	5,56	0,73	17,6	8,8	73,5
	C	4,07	0,55	1,82	3,50	1,99	3,51	5,32	4,06	65,88	13,56	2,26	5,39	1,08	14,3	12,2	73,5
P/JU-39	A	3,90	0,39	2,48	3,60	2,15	3,61	6,08	4,00	59,30	9,76	2,16	5,94	0,56	31,0	8,8	60,2
	B	4,37	0,30	1,82	1,90	0,50	1,90	3,72	2,20	51,16	13,63	2,63	7,43	0,61	37,6	5,5	56,9
	C	4,04	0,30	3,15	3,40	0,33	3,40	6,55	3,70	51,91	8,11	1,39	7,97	1,12	37,6	8,8	53,5
P/JU-40	A	4,03	0,29	2,10	0,90	0,17	0,90	3,00	1,19	30,01	24,36	2,39	9,47	0,42	4,3	8,8	86,9
	B	4,03	0,40	2,45	1,40	0,33	1,40	3,85	1,80	36,42	22,21	3,66	3,04	0,24	14,3	8,8	76,9
	C	4,14	0,39	1,28	2,20	0,25	2,20	3,48	2,59	63,32	15,05	2,18	4,55	0,12	7,6	8,8	83,5
P/JU-41	A	3,90	0,55	1,35	1,90	0,08	1,90	3,25	2,45	58,46	22,45	0,82	3,44	0,52	11,0	8,8	80,2
	B	3,76	0,58	1,50	1,30	0,17	1,30	2,80	1,88	46,44	30,84	2,13	3,87	0,14	7,6	15,5	76,9
	C	3,90	0,50	2,03	1,60	0,17	1,60	3,63	2,10	44,14	23,80	2,16	3,71	0,00	21,0	5,5	73,5
P/JU-42	A	4,14	0,15	2,93	2,50	0,33	2,50	5,43	2,65	46,09	5,66	1,57	4,74	1,25	31,0	5,5	63,5
	B	1,18	0,14	2,51	2,50	0,17	2,50	5,01	2,64	49,95	5,30	2,18	8,48	1,65	27,6	5,5	66,9
	C	4,70	0,10	1,41	3,40	1,90	3,40	4,81	3,50	70,72	2,85	2,58	8,00	0,75	24,3	8,8	66,9
P/JU-43	A	3,82	0,50	2,72	3,20	0,33	3,20	5,92	3,70	54,11	13,51	2,21	7,01	1,28	37,6	8,8	53,5
	B	4,27	0,25	2,18	1,80	0,33	1,80	3,98	2,05	45,29	12,19	1,95	7,96	0,94	37,6	5,5	56,9
	C	4,27	0,15	1,56	2,20	0,74	2,20	3,76	2,35	58,53	6,38	0,87	8,81	0,33	24,3	8,8	66,9
P/JU-44	A	5,01	0,23	0,98	3,20	0,50	3,20	4,18	3,43	76,65	6,70	0,70	6,76	0,60	27,6	5,5	66,9
	B	4,80	0,66	0,69	2,40	0,66	2,40	3,09	3,06	77,68	21,56	2,66	5,86	0,96	28,8	4,1	67,1
	C	4,34	0,32	0,44	3,00	0,25	3,00	3,44	3,32	87,34	9,64	2,08	11,32	0,86	22,2	10,7	67,1
P/JU-45	A	3,99	0,70	1,80	2,20	0,41	2,20	4,00	2,90	55,01	24,13	2,29	5,99	0,65	38,8	5,7	55,5
	B	4,37	0,25	1,05	2,50	0,41	2,50	3,55	2,75	70,43	9,09	2,60	9,88	0,85	48,8	7,4	43,8
	C	4,57	0,20	0,83	3,60	0,33	3,60	4,43	3,80	81,36	5,26	0,85	10,20	1,49	48,8	7,4	43,8
P/JU-46	A	4,73	0,56	1,77	3,00	0,33	3,00	4,77	3,56	62,90	15,73	3,28	10,20	1,37	32,2	20,7	47,1
	B	4,02	0,35	1,20	1,80	0,50	1,80	3,00	2,15	60,02	16,27	3,99	8,41	2,27	38,8	14,1	47,1
	C	3,67	1,13	1,13	3,00	0,83	3,00	4,13	4,13	72,74	27,35	4,31	9,95	0,28	40,5	2,4	57,1
P/JU-47	A	4,63	0,15	0,30	2,10	1,49	2,10	2,40	2,25	87,52	6,66	1,37	4,93	0,50	28,8	7,4	63,8
	B	5,07	0,15	0,52	3,60	1,32	3,60	4,13	3,75	87,28	4,00	2,03	5,67	1,04	35,5	7,4	57,1
	C	5,30	0,17	0,71	3,10	1,66	3,10	3,81	3,27	81,49	5,19	2,47	6,27	0,40	22,2	2,4	75,5
P/JU-48	A	4,37	0,25	0,40	2,60	1,66	2,60	3,01	2,85	86,54	8,76	2,68	5,29	0,54	15,5	7,4	77,1
	B	4,12	0,20	1,08	2,30	1,41	2,30	3,38	2,50	68,08	7,99	3,22	3,57	0,94	12,2	7,4	80,5
	C	3,93	0,42	0,69	3,10	1,16	3,10	3,79	3,52	81,81	11,92	2,58	4,42	0,69	12,2	10,7	77,1
P/JU-49	A	4,41	1,20	1,89	0,90	1,66	0,90	2,79	2,10	32,36	57,03	3,72	3,07	0,76	22,2	7,4	70,5
	B	4,66	0,71	1,88	1,70	0,99	1,70	3,58	2,41	47,59	29,43	3,33	4,84	0,85	15,5	7,4	77,1
	C	4,40	0,96	1,91	1,40	0,74	1,40	3,31	2,36	42,39	40,65	4,25	4,39	0,58	18,8	4,1	77,1
P/JU-50	A	4,81	0,22	1,58	2,80	1,41	2,80	4,38	3,02	64,03	7,28	2,45	5,12	1,46	38,8	17,4	43,8
	B	4,52	0,20	0,86	1,20	1,16	1,20	2,06	1,40	58,45	14,26	0,70	8,32	1,01	38,8	10,7	50,5
	C	6,08	0,20	0,42	4,90	1,24	4,90	5,32	5,10	92,11	3,92	2,92	6,08	1,29	35,5	10,7	53,8
P/JU-51	A	4,60	0,30	0,54	1,90	0,41	1,90	2,44	2,20	77,88	13,63	0,85	7,54	1,17	32,2	10,7	57,1
	B	4,00	0,83	1,82	1,50	0,50	1,50	3,32	2,33	45,27	35,60	3,60	6,39	1,10	25,5	14,0	60,5
	C	3,90	0,60	1,43	1,50	0,41	1,50	2,93	2,10	51,30	28,56	0,55	7,86	0,24	35,5	7,4	57,1
P/JU-52	A	4,33	0,23	0,90	2,10	0,25	2,10	3,00	2,33	70,01	9,87	1,09	8,23	0,69	18,8	4,1	77,1
	B	4,52	0,22	0,95	2,50	0,33	2,50	3,45	2,72	72,58	8,09	1,27	4,61	1,95	15,5	10,7	73,8
	C	4,60	0,02	0,36	1,60	0,17	1,60	1,96	1,62	81,64	1,23	0,87	5,40	1,10	18,8	4,1	77,1
P/JU-53	A	4,11	0,35	1,65	1,90	0,25	1,90	3,55	2,25	53,53	15,55	1,59	4,16	1,15	28,8	10,7	60,5
	B	3,73	0,72	1,05	1,00	0,25	1,00	2,05	1,72	48,80	41,84	0,82	6,99	0,73	28,8	4,1	67,1
	C	4,14	0,52	1,58	1,80	0,17	1,80	3,38	2,32	53,34	22,41	1,70	6,04	1,40	22,2	7,4	70,5
P/JU-54	A	3,32	2,48	2,07	0,60	0,25	0,60	2,67	3,08	22,49	80,50	0,67	6,04	0,88	28,8	17,4	53,8
	B	3,15	3,01	3,18	0,50	0,50	0,50	3,68	3,51	13,62	85,72	2,87	6,69	1,04	32,2	14,0	53,8
	C	3,66	1,54	2,60	0,70	0,50	0,70	3,30	2,24	21,27	68,71	1,09	6,37	1,00	27,2	12,4	60,5
P/JU-55	A	3,42	2,04	3,00	1,00	0,50	1,00	4,00	3,04	25,02	67,08	2,32	6,58	1,			

A3. Résultats de l'analyse de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X

A3.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau – (Tableaux 10.6).

Eléments/ Echantillons		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
P/CO-1	A	46,316	34,369	3,939	0,00	0,00	0,00	0,039	1,079	0,00	14,043
	B	44,807	34,847	4,184	0,00	0,00	0,00	0,041	1,047	0,00	14,857
	C	51,702	32,919	3,035	0,00	0,00	0,00	0,048	1,222	0,00	10,757
P/CO-2	A	55,066	28,268	3,250	0,100	0,593	0,150	0,167	0,943	0,00	11,131
	B	54,187	24,648	2,616	0,426	0,678	0,186	0,221	0,873	0,00	15,939
	C	56,790	27,414	2,978	0,00	0,00	0,186	0,216	0,946	0,00	11,055
P/CO-3	A	68,512	21,753	1,335	0,00	0,671	0,00	0,028	0,884	0,00	6,560
	B	67,787	22,304	1,331	0,020	0,545	0,264	0,028	0,905	0,00	6,542
	C	72,301	19,488	1,118	0,00	0,664	0,301	0,021	0,842	0,00	4,996
P/CO-4	A	55,051	29,477	4,008	0,00	0,00	0,00	0,038	0,988	0,00	10,111
	B	50,346	31,458	4,334	0,041	0,00	0,00	0,037	0,999	0,00	12,526
	C	52,663	30,751	4,019	0,066	0,768	0,00	0,055	0,963	0,00	10,422
P/CO-5	A	52,065	29,907	4,395	0,187	0,00	0,258	0,252	1,069	0,00	11,543
	B	51,545	29,563	4,178	0,00	0,00	0,00	0,199	0,936	0,00	13,337
	C	53,099	29,221	3,739	0,099	0,00	0,265	0,225	1,065	0,00	12,008
P/CO-6	A	48,146	30,642	5,646	0,00	0,576	0,00	0,183	1,190	0,00	13,350
	B	47,302	31,921	6,061	0,00	0,00	0,133	0,134	1,269	0,00	12,978
	C	48,480	30,887	5,965	0,049	0,00	0,00	0,194	1,247	0,00	12,876
P/CO-7	A	54,006	26,866	3,476	0,229	0,701	0,997	0,259	1,007	0,00	12,099
	B	57,852	25,370	2,982	0,174	0,00	1,377	0,257	1,031	0,00	11,592
	C	56,648	26,481	3,154	0,185	0,534	0,702	0,380	1,033	0,00	10,482
P/CO-8	A	66,301	19,625	1,852	0,00	0,00	1,274	0,170	0,967	0,00	9,350
	B	68,676	18,075	1,709	0,00	0,00	1,226	0,158	0,987	0,00	8,714
	C	66,184	20,244	1,974	0,284	0,559	1,354	0,174	0,975	0,00	7,823
P/CO-9	A	41,834	33,782	7,546	0,059	0,770	0,00	0,090	1,169	0,00	14,464
	B	42,899	33,527	7,164	0,00	0,00	0,00	0,086	1,162	0,00	14,894
	C	41,755	33,247	7,710	0,00	0,793	0,00	0,093	1,192	0,00	14,914
P/CO-10	A	44,288	33,199	7,051	0,00	0,00	0,00	0,137	1,180	0,00	13,911
	B	45,397	32,673	6,376	0,00	0,00	0,00	0,119	1,081	0,00	14,124
	C	44,775	32,551	6,122	0,00	0,00	0,00	0,128	1,103	0,00	13,997
P/CO-11	A	57,817	24,722	3,139	0,00	0,00	1,868	0,200	1,147	0,165	10,440
	B	63,738	20,176	2,216	0,199	0,00	1,768	0,233	1,090	0,243	9,669
	C	63,749	21,011	2,513	0,057	0,00	1,885	0,165	1,254	0,208	8,543
P/CO-12	A	61,497	23,979	2,912	0,118	0,00	0,295	0,129	1,124	0,00	9,430
	B	66,176	20,915	2,412	0,100	0,00	0,260	0,182	1,017	0,082	8,254
	C	62,914	23,579	2,759	0,00	0,00	0,00	0,184	1,000	0,00	9,084
P/CO-13	A	50,663	28,487	2,409	0,00	1,006	4,336	0,077	0,732	0,00	11,278
	B	49,559	28,116	2,753	0,00	1,058	4,397	0,098	0,890	0,00	12,845
	C	52,532	28,568	2,485	0,00	1,014	4,862	0,079	0,847	0,00	9,337
P/CO-14	A	52,070	26,260	3,854	0,00	1,186	4,140	0,273	1,516	0,00	10,323
	B	51,057	26,635	4,145	0,00	1,276	3,807	0,279	1,542	0,00	10,874
	C	52,141	26,100	3,731	0,00	0,911	4,503	0,229	1,387	0,00	9,780
P/CO-15	A	56,495	27,427	3,127	0,00	0,00	1,592	0,260	1,039	0,00	9,717
	B	56,222	27,504	3,109	0,00	0,00	1,746	0,218	1,042	0,00	9,827
	C	58,688	24,904	2,979	0,00	0,00	1,871	0,260	1,123	0,00	9,778
P/CO-16	A	53,111	29,314	3,360	0,066	0,553	0,383	0,178	1,036	0,00	11,642
	B	52,399	30,237	3,525	0,036	0,841	0,00	0,180	1,052	0,00	11,386
	C	58,733	24,958	3,247	0,068	0,00	0,345	0,237	1,110	0,00	10,921
P/CO-17	A	40,133	36,013	5,078	0,035	0,00	0,00	0,028	1,045	0,00	17,511
	B	39,145	35,221	5,020	0,061	1,052	0,093	0,038	0,949	0,00	18,246
	C	39,975	36,090	4,978	0,048	0,00	0,00	0,024	1,011	0,00	17,713
P/CO-18	A	42,671	38,363	6,574	0,162	0,00	0,040	0,045	1,070	0,00	10,870
	B	24,766	26,229	3,320	0,020	0,463	0,00	0,018	0,565	0,00	17,178
	C	39,439	35,731	5,781	0,033	0,00	0,052	0,034	0,953	0,00	17,793
P/CO-19	A	46,333	34,524	3,366	0,088	0,723	0,00	0,042	1,148	0,00	13,531
	B	46,347	34,651	3,791	0,00	0,00	0,00	0,053	1,111	0,00	13,832
	C	45,620	36,133	3,109	0,044	0,00	0,00	0,027	1,105	0,00	13,743
P/CO-20	A	62,215	24,391	1,749	0,00	0,00	0,00	0,136	1,390	0,00	9,613
	B	63,497	22,551	1,664	0,00	0,00	0,00	0,103	1,089	0,155	10,553
	C	54,413	30,606	2,238	0,045	0,616	0,100	0,066	1,226	0,00	10,380
P/CO-21	A	46,766	32,560	4,421	0,135	0,00	0,065	0,085	0,909	0,00	14,823
	B	47,237	31,653	4,407	0,143	0,00	0,098	0,089	0,862	0,00	15,211
	C	44,213	33,088	4,388	0,138	0,695	0,088	0,053	0,873	0,00	16,219
P/CO-22	A	45,468	32,865	5,136	0,084	0,00	0,094	0,082	0,992	0,00	14,501
	B	46,984	32,469	4,833	0,00	0,00	0,00	0,091	1,015	0,00	14,308
	C	42,496	35,787	5,512	0,00	0,00	0,00	0,060	1,013	0,00	14,861
P/CO-23	A	39,628	31,564	3,523	0,00	0,00	0,00	0,057	0,917	0,00	17,739
	B	43,542	34,833	4,165	0,063	0,00	0,087	0,067	1,082	0,00	15,924
	C	42,361	35,953	4,099	0,051	0,901	0,00	0,046	1,030	0,00	15,338
P/CO-24	A	50,515	31,021	2,963	0,101	0,663	0,147	0,097	0,978	0,00	13,223
	B	50,574	31,797	3,324	0,075	0,00	0,137	0,078	0,930	0,00	12,801
	C	53,404	30,646	2,144	0,079	0,00	0,224	0,075	1,018	0,00	12,102
P/CO-25	A	44,614	34,609	4,090	0,039	0,615	0,088	0,036	1,100	0,00	14,511
	B	41,641	31,855	3,666	0,00	0,00	0,00	0,036	0,973	0,00	21,605
	C	44,727	35,105	4,314	0,00	0,00	0,00	0,043	1,099	0,00	14,398
P/CO-26	A	38,121	35,510	6,490	0,032	0,00	0,00	0,035	0,984	0,00	18,600
	B	34,484	35,719	6,586	0,00	0,00	0,00	0,039	1,048	0,00	17,907
	C	37,954	36,267	6,754	0,00	0,00	0,00	0,037	1,013	0,00	17,754
P/CO-27	A	31,923	33,370	10,585	0,287	0,00	0,281	0,128	1,490	0,076	10,515
	B	36,095	38,290	15,506	0,00	0,00	0,00	0,075	1,743	0,00	7,935
	C	38,132	38,166	12,939	0,00	0,919	0,00	0,101	1,921	0,00	7,529
P/CO-28	A	50,579	32,704	2,017	0,00	0,580	0,273	0,038	1,339	0,00	12,231
	B	52,936	30,879	1,775	0,143	0,00	0,314	0,068	1,381	0,00	12,191
	C	48,474	33,336	2,033	0,060	0,856	0,00	0,039	1,317	0,00	13,642
P/CO-29	A	60,505	24,984	2,212	0,211	0,00	0,904	0,072	0,766	0,00	10,033

	B	61,778	22,474	1,888	0,278	0,00	1,230	0,106	0,735	0,00	11,114
	C	57,667	26,958	2,204	0,124	0,00	0,741	0,050	0,757	0,00	11,182
P/CO-30	A	49,443	26,833	6,255	0,119	0,00	0,373	0,168	1,182	0,00	14,060
	B	48,225	30,391	5,064	0,00	0,00	0,339	0,126	1,065	0,00	14,528
	C	48,451	28,136	5,554	0,176	0,750	0,382	0,113	1,057	0,00	15,127
P/CO-31	A	40,734	28,975	11,620	0,085	0,773	0,166	0,270	1,686	0,00	15,435
	B	40,651	28,337	11,477	0,201	0,00	0,164	0,326	1,538	0,00	17,065
	C	43,418	28,174	11,282	0,00	0,00	0,139	0,370	1,815	0,00	14,598
P/CO-32	A	38,986	32,820	9,411	0,00	0,00	0,00	0,194	1,225	0,00	16,268
	B	39,669	31,541	8,271	0,050	0,00	0,083	0,202	1,097	0,00	18,931
	C	26,048	24,594	5,711	0,00	0,00	0,00	0,131	0,722	0,00	16,491
P/CO-33	A	40,950	33,637	5,689	0,065	0,748	0,00	0,084	0,904	0,00	17,706
	B	40,657	35,699	6,017	0,041	0,976	0,00	0,068	0,961	0,00	15,401
	C	42,001	35,911	6,140	0,00	0,00	0,00	0,068	0,979	0,00	14,736
P/CO-34	A	39,607	34,477	8,688	0,00	0,00	0,00	0,083	1,073	0,00	15,870
	B	39,503	34,140	8,380	0,041	0,00	0,00	0,078	1,063	0,00	16,636
	C	38,789	35,070	8,693	0,00	0,00	0,00	0,065	1,111	0,00	16,115
P/CO-35	A	45,316	28,969	4,269	0,241	0,944	2,340	0,203	1,330	0,190	15,802
	B	48,680	24,856	4,293	0,00	0,501	0,806	0,058	0,444	0,00	12,916
	C	49,161	29,064	4,153	0,00	0,692	2,449	0,233	1,365	0,00	12,511
P/CO-36	A	56,272	25,802	3,469	0,273	0,00	0,281	0,171	1,205	0,00	12,004
	B	56,265	26,680	3,465	0,170	0,00	0,274	0,171	1,204	0,00	11,245
	C	57,412	27,415	3,471	0,00	0,00	0,321	0,148	1,189	0,00	9,529
P/CO-37	A	62,170	24,976	0,997	0,00	0,00	0,00	0,072	0,962	0,00	10,516
	B	57,071	26,955	1,270	0,259	0,605	0,094	0,052	1,045	0,00	12,323
	C	53,217	25,406	0,888	0,00	0,00	0,102	0,022	1,100	0,00	18,213

A3.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer – (Tableaux 10.7).

Eléments/Echantillons		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
P/JU-1	A	57,972	24,504	4,033	0,00	0,743	0,244	0,086	0,692	0,00	11,486
	B	45,967	30,988	5,121	0,328	0,710	0,467	0,138	0,845	0,00	15,223
	C	52,264	27,272	4,803	0,177	0,674	0,163	0,056	0,613	0,00	12,812
P/JU-2	A	67,590	19,539	3,901	0,00	0,00	0,00	0,029	0,630	0,00	8,024
	B	63,989	22,655	3,411	0,211	0,707	0,201	0,061	0,733	0,00	7,743
	C	47,930	17,166	5,491	1,514	0,645	0,217	0,216	0,607	0,291	15,566
P/JU-3	A	56,708	27,001	3,916	0,00	0,00	0,00	0,032	0,720	0,00	11,334
	B	57,198	26,438	3,867	0,00	0,591	0,257	0,080	0,774	0,00	10,558
	C	62,398	20,208	3,532	0,307	0,00	0,237	0,065	0,615	0,00	12,301
P/JU-4	A	48,552	29,774	4,824	0,297	0,751	0,199	0,071	0,816	0,00	14,502
	B	46,366	31,035	4,611	0,361	0,714	0,254	0,055	0,829	0,00	15,546
	C	55,140	27,787	4,344	0,238	0,00	0,266	0,075	0,790	0,00	11,128
P/JU-5	A	40,516	35,514	6,974	0,053	0,679	0,00	0,031	0,976	0,00	15,043
	B	39,529	35,042	6,580	0,423	0,896	0,219	0,037	1,028	0,00	16,091
	C	37,993	33,469	6,368	0,804	1,027	0,124	0,055	0,927	0,00	19,066
P/JU-6	A	45,288	32,565	7,259	0,048	0,00	0,00	0,057	0,946	0,00	13,622
	B	45,522	32,537	6,968	0,058	0,00	0,00	0,052	0,904	0,00	13,735
	C	46,865	30,688	6,064	0,00	0,888	0,172	0,091	0,858	0,00	14,187
P/JU-7	A	45,043	34,141	4,568	0,00	1,039	1,379	0,023	1,058	0,00	12,567
	B	46,487	32,462	4,262	0,00	0,978	1,274	0,024	1,008	0,00	13,320
	C	45,969	34,195	4,575	0,00	0,941	1,342	0,026	1,047	0,00	11,741
P/JU-8	A	44,811	28,712	4,581	0,202	1,050	0,858	0,045	0,771	0,00	18,791
	B	47,845	32,451	5,513	0,00	0,799	1,005	0,027	0,910	0,00	11,286
	C	49,144	31,074	5,318	0,063	0,948	0,00	0,022	0,839	0,00	12,409
P/JU-9	A	38,021	34,661	6,693	0,00	0,959	0,00	0,030	1,005	0,00	18,483
	B	31,706	35,766	6,332	0,00	1,114	0,00	0,029	0,938	0,00	19,180
	C	39,194	39,948	7,945	0,00	0,00	0,00	0,029	1,104	0,00	12,081
P/JU-10	A	70,515	21,070	0,823	0,213	0,508	0,366	0,035	0,656	0,00	5,539
	B	55,825	22,027	3,292	0,00	0,852	1,251	0,020	0,567	0,00	15,223
	C	59,531	24,741	4,354	0,00	0,965	1,707	0,00	0,665	0,00	7,832
P/JU-11	A	41,608	27,822	4,650	0,00	0,772	0,411	0,021	0,653	0,00	11,727
	B	45,106	32,302	6,241	0,00	0,860	0,534	0,033	0,860	0,00	13,909
	C	47,557	32,268	6,205	0,00	0,00	0,537	0,029	0,829	0,00	12,435
P/JU-12	A	70,000	19,397	2,653	0,00	0,00	0,00	0,038	0,728	0,00	6,873
	B	71,053	18,366	2,558	0,00	0,00	0,311	0,061	0,828	0,00	6,452
	C	70,097	18,480	2,489	0,348	0,00	0,266	0,053	0,762	0,00	7,180
P/JU-13	A	45,903	34,770	10,259	0,00	0,918	0,917	0,041	1,411	0,00	5,539
	B	70,800	18,288	0,765	0,167	0,591	0,282	0,020	0,636	0,00	8,182
	C	62,632	26,402	1,378	0,188	0,661	0,425	0,00	0,780	0,00	7,294
P/JU-14	A	43,070	35,364	1,525	0,00	0,888	0,369	0,00	1,138	0,00	17,458
	B	42,477	35,929	1,718	0,00	0,948	0,261	0,00	1,157	0,00	17,347
	C	41,713	36,343	1,538	0,078	0,842	0,380	0,016	1,158	0,00	17,788
P/JU-15	A	58,174	22,359	1,374	0,595	0,580	0,198	0,054	0,702	0,233	15,327
	B	65,418	21,607	1,192	0,332	0,540	0,166	0,058	0,679	0,00	9,662
	C	63,874	22,731	1,144	0,00	0,476	0,00	0,059	0,691	0,00	10,665
P/JU-16	A	71,643	19,692	0,934	0,123	0,00	0,253	0,062	0,927	0,00	6,023
	B	71,433	20,709	0,904	0,102	0,00	0,183	0,035	0,847	0,00	5,494
	C	72,867	18,720	1,050	0,116	0,00	0,320	0,050	0,901	0,00	5,646
P/JU-17	A	37,527	36,911	5,639	0,067	0,00	0,00	0,020	1,123	0,00	18,532
	B	37,517	36,665	5,729	0,00	0,00	0,00	0,026	1,135	0,00	18,721
	C	38,782	36,400	5,591	0,084	0,986	0,00	0,028	1,176	0,00	16,756
P/JU-18	A	39,088	36,965	5,787	0,128	0,00	0,403	0,038	1,390	0,00	15,959
	B	37,703	36,276	5,556	0,138	1,010	0,387	0,042	1,256	0,00	17,423
	C	37,157	35,988	5,539	0,123	1,048	0,368	0,038	1,228	0,00	18,312
P/JU-19	A	36,904	35,381	5,252	0,195	0,998	0,415	0,033	1,137	0,00	19,480
	B	40,880	31,285	8,353	0,474	1,024	0,860	0,118	1,290	0,00	15,505
	C	40,239	32,146	8,418	0,182	1,028	0,831	0,040	1,351	0,00	15,556
P/JU-20	A	63,167	23,609	1,950	0,00	0,829	1,466	0,00	0,694	0,00	7,997

	B	58,710	24,389	2,506	0,00	0,799	1,398	0,00	0,636	0,00	11,282
	C	63,468	22,820	1,666	0,00	0,893	1,793	0,00	0,610	0,00	8,464
P/JU-21	A	40,104	36,723	4,270	0,00	0,994	0,00	0,00	1,129	0,00	16,596
	B	39,449	36,415	4,525	0,00	1,065	0,316	0,022	1,108	0,00	16,903
	C	42,094	36,062	4,064	0,049	0,981	0,00	0,015	1,164	0,00	15,358
P/JU-22	A	60,496	23,691	3,217	0,00	0,812	2,160	0,045	0,699	0,00	8,651
	B	58,268	26,995	3,511	0,00	0,852	2,301	0,024	0,788	0,00	7,055
	C	60,477	25,566	3,152	0,00	0,879	2,282	0,038	0,733	0,00	6,667
P/JU-23	A	59,551	21,597	6,313	0,00	0,949	1,883	0,106	0,625	0,00	8,736
	B	55,484	24,364	6,076	0,00	0,882	2,348	0,128	0,623	0,00	9,867
	C	52,016	26,533	8,161	0,00	1,059	1,959	0,116	0,754	0,00	9,198
P/JU-24	A	61,305	24,249	3,958	0,00	0,956	2,617	0,036	0,644	0,00	6,020
	B	57,884	26,076	4,529	0,00	0,757	2,767	0,034	0,684	0,00	7,043
	C	56,171	24,229	4,192	0,705	1,371	2,867	0,195	0,679	0,235	9,117
P/JU-25	A	41,315	34,314	6,426	0,00	0,984	0,510	0,027	1,229	0,00	15,001
	B	40,056	33,578	5,958	0,321	0,891	0,606	0,065	1,201	0,00	17,128
	C	40,276	34,810	6,602	0,00	0,771	0,468	0,039	1,225	0,00	15,644
P/JU-26	A	52,129	30,338	4,001	0,00	0,798	2,174	0,034	0,945	0,00	9,378
	B	51,219	30,748	3,886	0,00	1,055	1,794	0,034	0,953	0,00	9,336
	C	52,932	28,884	5,012	0,00	0,984	2,534	0,031	0,914	0,00	8,500
P/JU-27	A	55,805	28,589	3,314	0,00	0,956	1,915	0,039	0,797	0,00	8,381
	B	55,782	29,168	3,555	0,00	0,742	1,902	0,023	0,799	0,00	7,845
	C	25,082	13,956	0,758	0,00	0,514	0,650	0,009	0,244	0,00	8,133
P/JU-28	A	59,355	25,486	3,497	0,00	0,796	3,178	0,033	0,720	0,00	6,709
	B	53,708	28,324	4,576	0,00	0,996	3,505	0,036	0,823	0,00	7,845
	C	55,901	28,539	3,337	0,00	0,909	3,621	0,028	0,817	0,00	6,654
P/JU-29	A	62,220	23,583	2,503	0,00	0,863	2,412	0,029	0,686	0,00	7,499
	B	64,394	22,701	2,229	0,00	0,672	2,297	0,026	0,625	0,00	6,808
	C	57,697	28,094	2,729	0,00	1,150	3,011	0,034	0,804	0,00	6,217
P/JU-30	A	37,244	38,962	6,703	0,00	1,025	0,558	0,030	1,149	0,00	14,146
	B	32,733	36,479	6,053	0,00	1,035	0,528	0,021	1,100	0,00	18,501
	C	38,017	37,429	6,312	0,160	1,076	0,445	0,021	1,068	0,00	15,329
P/JU-31	A	50,573	29,255	3,789	0,00	0,659	0,766	0,071	1,162	0,00	13,525
	B	57,318	26,459	3,027	0,271	0,835	0,535	0,077	1,121	0,00	10,100
	C	44,343	18,267	1,665	0,268	0,584	0,595	0,043	0,656	0,085	9,031
P/JU-32	A	61,876	22,842	4,273	0,00	0,637	2,067	0,036	0,714	0,00	6,491
	B	60,342	24,689	4,109	0,00	0,776	2,419	0,035	0,722	0,00	6,653
	C	65,887	21,261	3,636	0,00	0,659	1,904	0,049	0,670	0,00	5,695
P/JU-46	A	57,175	27,022	3,233	0,00	0,810	1,555	0,065	0,924	0,00	9,012
	B	47,910	30,067	5,500	0,159	0,676	0,959	0,182	1,063	0,00	13,308
	C	64,304	24,024	2,181	0,00	0,896	1,758	0,059	0,684	0,00	5,853
P/JU-47	A	49,759	30,575	5,086	0,164	0,879	0,477	0,042	1,383	0,00	11,416
	B	47,073	32,046	5,620	0,217	0,00	0,421	0,041	1,356	0,00	12,316
	C	52,780	29,082	4,548	0,349	0,567	0,414	0,049	1,425	0,00	10,556
P/JU-49	A	59,332	25,895	2,283	0,00	0,764	1,717	0,00	0,771	0,00	9,023
	B	63,824	26,948	3,758	0,00	0,875	1,758	0,022	0,807	0,00	1,776
	C	59,697	25,254	2,071	0,066	0,846	1,806	0,00	0,753	0,00	9,298
P/JU-50	A	52,969	25,503	7,207	0,00	0,625	1,992	0,082	0,685	0,00	9,673
	B	50,933	27,786	7,943	0,00	1,076	2,271	0,103	0,757	0,00	8,939
	C	55,963	25,176	6,869	0,00	0,698	2,091	0,069	0,679	0,00	8,259
P/JU-51	A	53,810	30,300	2,578	0,098	0,808	0,364	0,036	0,790	0,00	10,957
	B	51,199	30,110	3,174	0,059	0,688	0,00	0,041	0,798	0,00	12,739
	C	52,840	32,134	2,446	0,035	0,732	0,00	0,024	0,804	0,00	10,782
P/JU-52	A	57,627	25,483	5,059	0,101	0,682	0,254	0,037	0,865	0,00	9,632
	B	58,919	24,497	4,651	0,169	0,600	0,207	0,065	0,824	0,00	9,805
	C	56,352	27,323	5,878	0,00	0,00	0,00	0,060	0,911	0,00	9,208
P/JU-53	A	49,617	30,551	4,671	0,00	0,878	1,475	0,030	0,897	0,00	11,667
	B	43,009	33,323	5,536	0,00	0,827	1,669	0,038	1,028	0,00	13,423
	C	48,152	31,727	4,613	0,00	0,879	1,294	0,041	0,905	0,00	12,183
P/JU-54	A	58,093	25,661	4,207	0,00	0,986	3,208	0,029	0,701	0,00	6,876
	B	58,768	24,632	3,984	0,00	0,943	3,058	0,025	0,700	0,00	7,640
	C	56,634	26,074	4,177	0,00	1,082	3,259	0,039	0,688	0,00	7,792
P/JU-55	A	56,190	25,747	4,468	0,00	1,096	2,915	0,032	0,817	0,00	8,521
	B	55,568	26,721	4,466	0,00	1,104	3,043	0,031	0,814	0,00	8,035
	C	56,408	25,625	4,269	0,00	1,054	2,948	0,033	0,786	0,00	8,610
P/JU-56	A	33,850	31,369	15,577	0,00	0,818	1,166	0,074	2,216	0,00	14,746
	B	34,786	29,365	16,361	0,00	0,508	1,215	0,073	2,283	0,122	15,089
	C	33,736	31,845	14,691	0,00	0,808	1,188	0,072	2,077	0,00	15,332

A3.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda Preciosa – (Tableau 10.8).

Éléments/ Echantillons		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
P/JU-33	A	41,983	32,482	4,681	0,00	0,757	1,233	0,067	1,173	0,00	17,423
	B	38,780	38,547	6,33	0,00	0,00	1,04	0,04	1,27	0,00	13,78
	C	43,788	33,709	5,157	0,053	0,970	1,032	0,055	1,024	0,00	14,022
P/JU-34	A	68,486	18,211	2,293	0,103	0,00	0,711	0,038	0,510	0,00	9,215
	B	65,447	21,868	2,648	0,122	0,663	0,734	0,047	0,589	0,00	7,515
	C	69,674	19,594	2,047	0,00	0,536	0,840	0,041	0,570	0,00	6,320
P/JU-35	A	46,144	29,934	6,701	0,00	0,649	1,690	0,048	1,085	0,00	13,523
	B	42,543	31,564	7,184	0,00	0,786	1,855	0,053	1,146	0,00	13,348
	C	47,014	30,654	6,418	0,00	0,685	1,692	0,048	1,129	0,00	12,128
P/JU-36	A	66,347	21,441	1,480	0,00	0,799	1,497	0,043	1,031	0,00	7,082
	B	61,513	25,355	2,100	0,00	0,786	1,509	0,051	1,179	0,00	7,242
	C	65,408	22,619	1,266	0,00	0,660	1,604	0,032	1,058	0,00	6,301
P/JU-37	A	62,213	23,292	3,089	0,00	0,943	2,189	0,031	0,719	0,00	7,277
	B	57,529	25,404	4,425	0,00	1,140	2,783	0,095	0,812	0,00	7,587
	C	61,809	26,036	2,818	0,00	1,113	2,440	0,029	0,841	0,00	4,641
P/JU-38	A	48,180	25,193	4,513	0,00	0,00	0,483	0,055	0,777	0,00	9,275
	B	56,804	26,451	4,951	0,106	0,728	0,602	0,050	0,894	0,00	9,141

	C	54,394	27,791	5,490	0,107	0,661	0,552	0,074	0,986	0,00	9,688
P/JU-39	A	38,757	34,855	7,745	0,00	0,648	0,762	0,049	1,183	0,00	15,801
	B	37,552	35,315	7,583	0,00	0,00	0,697	0,033	1,168	0,00	17,451
	C	39,462	34,949	7,541	0,00	0,00	0,901	0,050	1,129	0,00	15,748
P/JU-40	A	59,661	26,529	1,951	0,085	0,782	0,672	0,091	0,593	0,00	9,412
	B	57,430	28,006	2,330	0,00	0,869	0,600	0,056	0,592	0,00	9,906
	C	59,005	27,635	2,060	0,00	0,598	0,890	0,119	0,597	0,00	8,899
P/JU-41	A	54,677	29,566	5,058	0,071	0,00	0,00	0,077	0,866	0,00	9,530
	B	57,767	26,113	4,250	0,059	0,553	0,349	0,080	0,822	0,00	9,802
	C	46,349	32,838	6,700	0,063	0,00	0,00	0,045	1,008	0,00	11,824
P/JU-42	A	51,104	31,291	9,958	0,00	0,00	0,348	0,077	1,379	0,00	5,755
	B	32,272	23,491	6,008	0,086	0,635	0,199	0,047	0,860	0,00	13,550
	C	44,197	28,293	7,315	0,110	0,782	0,287	0,060	1,098	0,00	17,672
P/JU-43	A	40,589	31,479	9,931	0,00	0,844	0,00	0,102	1,431	0,00	15,394
	B	38,390	30,923	12,105	0,110	0,00	0,319	0,139	1,475	0,00	16,329
	C	41,535	29,950	9,253	0,096	0,585	0,368	0,085	1,453	0,00	16,531
P/JU-44	A	42,991	32,821	8,085	0,174	0,675	0,531	0,075	1,129	0,00	13,358
	B	43,838	30,130	7,087	0,182	0,735	0,579	0,087	1,037	0,00	16,128
	C	46,671	30,465	6,698	0,00	0,642	0,00	0,103	1,129	0,00	14,107
P/JU-45	A	32,652	35,295	10,768	0,00	0,00	0,379	0,056	1,275	0,00	19,348
	B	31,959	37,016	10,943	0,086	0,713	0,334	0,069	1,315	0,00	17,361
	C	31,599	35,427	11,200	0,151	0,00	0,424	0,077	1,280	0,00	19,631
P/JU-48	A	70,062	19,813	1,623	0,141	0,669	0,565	0,035	0,637	0,00	6,146
	B	70,929	18,535	1,612	0,101	0,00	0,569	0,035	0,631	0,00	7,297
	C	73,484	17,051	1,012	0,071	0,541	0,541	0,028	0,573	0,00	6,463
P/JU-53	A	49,617	30,551	4,671	0,00	0,878	1,475	0,030	0,897	0,00	11,667
	B	43,009	33,323	5,536	0,00	0,827	1,669	0,038	1,028	0,00	13,423
	C	48,152	31,727	4,613	0,00	0,879	1,294	0,041	0,905	0,00	12,183

A4. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols des aires de la Fazenda São Nicolau, de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.

A4.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau – (Tableaux 10.9).

Fazenda São Nicolau															
Elements / Echantillons		SO ₃	ZrO ₂	Tm ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	V ₂ O ₅	ZnO	SnO ₂	I	NbO	Cr ₂ O ₃	Ag ₂ O	CuO
P/CO-1	A	0.057	0.158	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.056	0.163	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.055	0.261	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-2	A	0.116	0.209	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.186	0.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.150	0.235	0.030	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-3	A	0.141	0.116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.140	0.135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.158	0.111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-4	A	0.087	0.240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.069	0.188	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.080	0.213	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-5	A	0.107	0.217	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.077	0.163	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.097	0.183	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-6	A	0.077	0.189	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.00	0.203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.085	0.217	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-7	A	0.112	0.243	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.110	0.236	0.00	0.006	0.005	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.135	0.249	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-8	A	0.208	0.246	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.215	0.232	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.185	0.237	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-9	A	0.063	0.190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.033	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.065	0.203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.076	0.177	0.00	0.00	0.00	0.00	0.041	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-10	A	0.063	0.144	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.067	0.163	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.010	0.019	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-11	A	0.129	0.343	0.00	0.007	0.008	0.007	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.185	0.460	0.00	0.007	0.008	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.178	0.415	0.00	0.006	0.008	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-12	A	0.114	0.396	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.155	0.442	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.132	0.349	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-13	A	0.095	0.120	0.00	0.016	0.011	0.00	0.00	0.010	0.636	0.123	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.111	0.136	0.00	0.018	0.013	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.095	0.139	0.00	0.018	0.013	0.002	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-14	A	0.106	0.206	0.00	0.021	0.017	0.008	0.00	0.014	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00
	B	0.136	0.176	0.00	0.022	0.018	0.009	0.00	0.017	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00
	C	0.120	0.270	0.00	0.016	0.016	0.006	0.060	0.010	0.00	0.115	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-15	A	0.079	0.249	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.071	0.255	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.098	0.280	0.00	0.008	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
P/CO-16	A	0.085	0.270	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.067	0.271	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.124	0.256	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

P/CO-17	A	0.059	0.097	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.061	0.092	0.00	0.00	0.00	0.00	0.020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.053	0.106	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-18	A	0.083	0.123	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.037	0.059	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.068	0.116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-19	A	0.064	0.180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.059	0.157	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.059	0.160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-20	A	0.164	0.290	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.053	0.00	0.00
	B	0.160	0.229	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.075	0.236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-21	A	0.074	0.164	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.088	0.172	0.038	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.079	0.166	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-22	A	0.086	0.221	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.472	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.091	0.209	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.060	0.211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-23	A	0.060	0.126	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.071	0.166	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.057	0.164	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-24	A	0.099	0.193	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.100	0.182	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.117	0.192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-25	A	0.081	0.189	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.030	0.00
	B	0.062	0.163	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.085	0.225	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00
P/CO-26	A	0.071	0.119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.078	0.139	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.065	0.119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.038	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-27	A	0.129	0.070	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.167	0.093	0.00	0.00	0.00	0.00	0.050	0.00	0.00	0.00	0.00	0.047	0.00	0.00
	C	0.162	0.088	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.042	0.00	0.00
P/CO-28	A	0.064	0.168	0.00	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.095	0.208	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00
	C	0.071	0.162	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-29	A	0.121	0.184	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.178	0.204	0.00	0.005	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.132	0.166	0.00	0.00	0.00	0.00	0.017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-30	A	0.106	0.203	0.00	0.00	0.008	0.00	0.033	0.00	1.218	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.089	0.167	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.120	0.128	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-31	A	0.090	0.123	0.00	0.00	0.00	0.00	0.041	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.097	0.109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.035	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.090	0.114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-32	A	0.065	0.103	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.928	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.065	0.091	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.038	0.057	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-33	A	0.089	0.094	0.00	0.00	0.00	0.00	0.033	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.072	0.107	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.063	0.102	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-34	A	0.067	0.098	0.00	0.00	0.00	0.00	0.036	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.072	0.083	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.052	0.093	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.011
P/CO-35	A	0.110	0.242	0.00	0.010	0.011	0.005	0.00	0.013	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
	B	0.033	0.052	0.00	0.003	0.003	0.001	0.00	0.003	0.00	0.00	0.002	0.00	0.00	0.00
	C	0.112	0.216	0.00	0.010	0.011	0.005	0.00	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/CO-36	A	0.104	0.403	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.105	0.421	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.077	0.434	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
P/CO-37	A	0.151	0.157	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.130	0.196	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.083	0.189	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.780	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A4.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer – (Tableaux 10.10).

Elements / Echantillons	SO ₃	ZrO ₂	Tm ₂ O ₄	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	V ₂ O ₅	ZnO	SnO ₂	I	NbO	Cr ₂ O ₃	Ag ₂ O	CuO
P/JU-1	A	0.142	0.098	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.137	0.077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.118	0.107	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.941	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-2	A	0.193	0.093	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.202	0.088	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.455	0.054	0.00	0.00	0.014	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-3	A	0.210	0.079	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.156	0.081	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.257	0.081	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-4	A	0.137	0.077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.146	0.082	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.155	0.077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-5	A	0.083	0.076	0.00	0.00	0.00	0.035	0.00	0.00	0.00	0.00	0.019	0.00	0.00
	B	0.075	0.075	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.090	0.068	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-6	A	0.081	0.100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.034	0.00	0.00
	B	0.094	0.102	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.027	0.00	0.00
	C	0.112	0.076	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-7	A	0.111	0.072	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	B	0.108	0.070	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.084	0.075	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-8	A	0.103	0.077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.078	0.086	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.095	0.089	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-9	A	0.081	0.066	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.071	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.081	0.070	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-10	A	0.185	0.091	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.140	0.060	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.130	0.068	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-11	A	0.065	0.046	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.073	0.059	0.00	0.00	0.00	0.00	0.022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.073	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-12	A	0.162	0.149	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.191	0.180	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.186	0.137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-13	A	0.096	0.094	0.00	0.00	0.00	0.00	0.052	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.138	0.116	0.00	0.00	0.00	0.005	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.128	0.098	0.00	0.00	0.00	0.00	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-14	A	0.100	0.083	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.083	0.079	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.065	0.074	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
P/JU-15	A	0.269	0.119	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
	B	0.191	0.140	0.00	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00
	C	0.204	0.140	0.00	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00
P/JU-16	A	0.159	0.169	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00
	B	0.107	0.173	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00
	C	0.154	0.163	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00
P/JU-17	A	0.068	0.107	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.086	0.120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.076	0.115	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-18	A	0.082	0.130	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.022	0.00	0.00
	B	0.089	0.114	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.081	0.112	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-19	A	0.098	0.102	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.132	0.079	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.087	0.078	0.00	0.00	0.00	0.00	0.043	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-20	A	0.138	0.136	0.00	0.007	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.147	0.121	0.00	0.007	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.143	0.131	0.00	0.008	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-21	A	0.055	0.123	0.00	0.00	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.079	0.119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.074	0.126	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00
P/JU-22	A	0.154	0.069	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.123	0.075	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.117	0.082	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-23	A	0.170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.059	0.00	0.011
	B	0.162	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.043	0.00	0.00
	C	0.141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.062	0.00	0.00
P/JU-24	A	0.137	0.067	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.155	0.062	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.164	0.052	0.00	0.009	0.006	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-25	A	0.081	0.090	0.00	0.00	0.00	0.00	0.023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.111	0.084	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.080	0.085	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-26	A	0.125	0.071	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.087	0.080	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.803	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.125	0.073	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-27	A	0.134	0.063	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.115	0.060	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.046	0.017	0.00	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-28	A	0.152	0.057	0.00	0.013	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.121	0.053	0.00	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.125	0.055	0.00	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-29	A	0.139	0.056	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.164	0.058	0.00	0.009	0.00	0.00	0.017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.193	0.061	0.00	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-30	A	0.068	0.078	0.00	0.00	0.00	0.00	0.037	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.046	0.065	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021	0.00	0.00
	C	0.068	0.074	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-31	A	0.101	0.099	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.146	0.112	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.108	0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-32	A	0.149	0.074	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.813	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.142	0.078	0.00	0.008	0.00	0.00	0.028	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.152	0.079	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-46	A	0.115	0.059	0.00	0.006	0.00	0.00	0.022	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.095	0.057	0.00	0.00	0.00	0.00	0.024	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.162	0.059	0.00	0.006	0.00	0.00	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-47	A	0.093	0.127	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.076	0.118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.717	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.100	0.131	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-49	A	0.144	0.064	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.148	0.077	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.137	0.064	0.00</											

	C	0.125	0.143	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-54	A	0.161	0.067	0.00	0.012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.176	0.063	0.00	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.146	0.067	0.00	0.011	0.00	0.00	0.031	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-55	A	0.146	0.058	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.146	0.061	0.00	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.165	0.067	0.00	0.010	0.00	0.00	0.024	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-56	A	0.065	0.120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.078	0.119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.066	0.112	0.00	0.00	0.00	0.00	0.073	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A4.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols de l'aire de la Fazenda Preciosa – (Tableau 10.11).

Elements/ Echantillons		SO ₃	ZrO ₂	Tm ₂ O ₃	Rb ₂ O	SrO	Y ₂ O ₃	V ₂ O ₅	ZnO	SnO ₂	I	NbO	Cr ₂ O ₃	Ag ₂ O	CuO
P/JU-33	A	0.117	0.085	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.07	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.112	0.078	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-34	A	0.235	0.197	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.177	0.179	0.00	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.168	0.198	0.00	0.00	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-35	A	0.121	0.105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.139	0.093	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	0.00	0.00
	C	0.121	0.110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-36	A	0.163	0.107	0.00	0.006	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.136	0.117	0.00	0.007	0.00	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.129	0.108	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-37	A	0.177	0.061	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.152	0.063	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.202	0.061	0.00	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-38	A	0.109	0.098	0.00	0.00	0.00	0.008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.126	0.119	0.00	0.00	0.00	0.011	0.019	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.139	0.108	0.00	0.00	0.00	0.009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-39	A	0.085	0.108	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.087	0.085	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028	0.00	0.00
	C	0.105	0.088	0.00	0.00	0.00	0.00	0.028	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-40	A	0.160	0.061	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.135	0.061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.142	0.054	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-41	A	0.089	0.066	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.135	0.072	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.080	0.062	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.032	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-42	A	0.142	0.094	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.034	0.00	0.00
	B	0.073	0.044	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.085	0.074	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.027	0.00	0.00
P/JU-43	A	0.083	0.077	0.00	0.00	0.00	0.00	0.045	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	0.00	0.00
	B	0.092	0.064	0.00	0.00	0.00	0.00	0.053	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.083	0.061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-44	A	0.082	0.053	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.027	0.00	0.00
	B	0.097	0.074	0.00	0.00	0.00	0.00	0.026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.109	0.076	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-45	A	0.091	0.067	0.00	0.00	0.00	0.00	0.039	0.00	0.00	0.00	0.00	0.030	0.00	0.00
	B	0.066	0.063	0.00	0.00	0.00	0.00	0.046	0.00	0.00	0.00	0.00	0.029	0.00	0.00
	C	0.076	0.061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.045	0.00	0.00	0.00	0.00	0.030	0.00	0.00
P/JU-48	A	0.210	0.099	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.183	0.103	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.137	0.093	0.00	0.00	0.00	0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P/JU-53	A	0.108	0.074	0.00	0.006	0.00	0.00	0.025	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B	0.096	0.074	0.00	0.006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.969	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C	0.116	0.063	0.00	0.006	0.00	0.00	0.021	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A.5. Résultats analytiques de la diffraction par les rayons X des soixante dix-huit échantillons analysés sur le total de 279 – (Tableaux 10.12).

Echantillons		Aires de Recherches	Type de Sols	Coordonnées Géographiques	
P/CO-1	C	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 51' 27,36 » Sud	58° 13' 51,23 » Ouest de Gr.
P/CO-2	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 51' 09,60 » Sud	58° 13' 19,40 » Ouest de Gr.
P/CO-2	B	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 51' 09,61 » Sud	58° 13' 20,54 » Ouest de Gr.
P/CO-5	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 51' 02,40 » Sud	58° 13' 55,30 » Ouest de Gr.
P/CO-5	C	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 51' 02,40 » Sud	58° 13' 55,62 » Ouest de Gr.
P/CO-7	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 52' 04,60 » Sud	58° 13' 50,80 » Ouest de Gr.
P/CO-7	B	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 52' 05,32 » Sud	58° 13' 55,30 » Ouest de Gr.
P/CO-8	A	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 52' 15,00 » Sud	58° 13' 55,90 » Ouest de Gr.
P/CO-9	A	Fazenda São Nicolau	Argileux/sableux	9° 51' 50,60 » Sud	58° 14' 05,30 » Ouest de Gr.
P/CO-9	C	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 51' 50,91 » Sud	58° 14' 05,15 » Ouest de Gr.
P/CO-10	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 51' 59,72 » Sud	58° 14' 07,32 » Ouest de Gr.
P/CO-10	C	Fazenda São Nicolau	Argileux/sableux	9° 52' 00,29 » Sud	58° 14' 06,33 » Ouest de Gr.
P/CO-11	A	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 52' 09,70 » Sud	58° 14' 41,50 » Ouest de Gr.
P/CO-11	B	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 52' 09,66 » Sud	58° 14' 45,89 » Ouest de Gr.
P/CO-11	C	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 52' 09,80 » Sud	58° 14' 39,00 » Ouest de Gr.
P/CO-12	B	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 52' 35,25 » Sud	58° 14' 32,75 » Ouest de Gr.
P/CO-13	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 51' 01,30 » Sud	58° 15' 21,50 » Ouest de Gr.
P/CO-14	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 50' 50,70 » Sud	58° 15' 17,40 » Ouest de Gr.
P/CO-15	B	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 51' 00,20 » Sud	58° 15' 29,00 » Ouest de Gr.
P/CO-18	A	Fazenda São Nicolau	Argileux	9° 51' 07,10 » Sud	58° 16' 21,30 » Ouest de Gr.
P/CO-20	A	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 51' 59,90 » Sud	58° 16' 31,16 » Ouest de Gr.
P/CO-20	B	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 52' 00,96 » Sud	58° 16' 31,50 » Ouest de Gr.
P/CO-22	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 52' 13,80 » Sud	58° 15' 34,30 » Ouest de Gr.
P/CO-25	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 52' 14,08 » Sud	58° 15' 11,93 » Ouest de Gr.
P/CO-27	A	Fazenda São Nicolau	Sableux	9° 50' 41,71 » Sud	58° 15' 07,42 » Ouest de Gr.
P/CO-28	B	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 52' 22,24 » Sud	58° 14' 54,70 » Ouest de Gr.
P/CO-29	A	Fazenda São Nicolau	Sableux/limoneux	9° 49' 36,60 » Sud	58° 16' 09,90 » Ouest de Gr.
P/CO-30	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/sableux	9° 50' 12,40 » Sud	58° 16' 49,70 » Ouest de Gr.
P/CO-31	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 50' 06,87 » Sud	58° 16' 57,20 » Ouest de Gr.
P/CO-34	A	Fazenda São Nicolau	Argileux/sableux	9° 49' 45,60 » Sud	58° 16' 54,90 » Ouest de Gr.
P/CO-34	B	Fazenda São Nicolau	Argileux/sableux	9° 49' 45,53 » Sud	58° 16' 55,20 » Ouest de Gr.
P/CO-37	A	Fazenda São Nicolau	Limoneux/argileux/sableux	9° 49' 37,90 » Sud	58° 15' 20,10 » Ouest de Gr.
P/JU-2	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Sableux/limoneux	10° 22' 06,75 » Sud	58° 26' 12,95 » Ouest de Gr.
P/JU-5	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux	10° 22' 10,10 » Sud	58° 26' 33,99 » Ouest de Gr.
P/JU-6	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 22' 25,90 » Sud	58° 26' 59,50 » Ouest de Gr.
P/JU-7	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 22' 26,06 » Sud	58° 26' 59,82 » Ouest de Gr.
P/JU-9	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 23' 51,26 » Sud	58° 23' 36,37 » Ouest de Gr.
P/JU-10	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 21,20 » Sud	58° 23' 11,50 » Ouest de Gr.
P/JU-13	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Sableux/limoneux	10° 24' 29,90 » Sud	58° 23' 14,70 » Ouest de Gr.
P/JU-14	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux	10° 25' 17,64 » Sud	58° 23' 52,79 » Ouest de Gr.
P/JU-15	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/sableux	10° 25' 50,70 » Sud	58° 24' 49,00 » Ouest de Gr.
P/JU-16	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Sableux/limoneux	10° 25' 09,61 » Sud	58° 23' 20,44 » Ouest de Gr.
P/JU-18	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 25' 48,20 » Sud	58° 26' 03,90 » Ouest de Gr.
P/JU-18	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 25' 50,40 » Sud	58° 26' 04,60 » Ouest de Gr.
P/JU-18	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 25' 47,30 » Sud	58° 26' 03,40 » Ouest de Gr.
P/JU-19	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 26' 06,90 » Sud	58° 26' 00,98 » Ouest de Gr.
P/JU-20	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/sableux	10° 26' 09,88 » Sud	58° 26' 37,51 » Ouest de Gr.
P/JU-20	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 26' 08,90 » Sud	58° 26' 37,50 » Ouest de Gr.
P/JU-20	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/sableux	10° 26' 10,23 » Sud	58° 26' 37,21 » Ouest de Gr.
P/JU-21	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 25' 37,90 » Sud	58° 25' 35,00 » Ouest de Gr.
P/JU-21	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 25' 36,13 » Sud	58° 25' 35,17 » Ouest de Gr.
P/JU-22	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 24' 00,70 » Sud	58° 26' 03,40 » Ouest de Gr.
P/JU-23	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 24' 55,10 » Sud	58° 26' 26,30 » Ouest de Gr.
P/JU-25	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 22,30 » Sud	58° 27' 04,10 » Ouest de Gr.
P/JU-26	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 17,84 » Sud	58° 26' 48,17 » Ouest de Gr.
P/JU-27	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/sableux	10° 23' 13,50 » Sud	58° 27' 51,30 » Ouest de Gr.
P/JU-28	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 38,60 » Sud	58° 27' 36,98 » Ouest de Gr.
P/JU-29	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 44,87 » Sud	58° 26' 47,14 » Ouest de Gr.
P/JU-30	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux	10° 22' 11,67 » Sud	58° 26' 21,88 » Ouest de Gr.
P/JU-31	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/sableux	10° 23' 16,00 » Sud	58° 25' 33,32 » Ouest de Gr.
P/JU-32	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 24' 00,30 » Sud	58° 25' 16,50 » Ouest de Gr.
P/JU-47	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 22' 23,90 » Sud	58° 24' 45,50 » Ouest de Gr.
P/JU-49	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 52,90 » Sud	58° 27' 00,30 » Ouest de Gr.
P/JU-50	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 24' 50,40 » Sud	58° 25' 57,90 » Ouest de Gr.
P/JU-51	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 26' 02,50 » Sud	58° 25' 35,70 » Ouest de Gr.
PFL/JU-54	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 35,38 » Sud	58° 27' 56,70 » Ouest de Gr.
PFL/JU-54	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 34,81 » Sud	58° 27' 37,50 » Ouest de Gr.
PFL/JU-54	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 23' 35,90 » Sud	58° 27' 57,04 » Ouest de Gr.
PFL/JU-55	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 24' 53,91 » Sud	58° 27' 20,43 » Ouest de Gr.
PFL/JU-55	B	Assentamento Vale do Amanhecer	Limoneux/argileux/sableux	10° 24' 54,81 » Sud	58° 27' 19,94 » Ouest de Gr.
PFL/JU-55	C	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux/sableux	10° 24' 53,00 » Sud	58° 27' 19,78 » Ouest de Gr.
PFL/JU-56	A	Assentamento Vale do Amanhecer	Argileux	10° 26' 12,49 » Sud	58° 27' 24,61 » Ouest de Gr.
P/JU-36	A	Fazenda Preciosa	Sableux	10° 24' 35,20 » Sud	58° 30' 24,00 » Ouest de Gr.
P/JU-37	B	Fazenda Preciosa	Limoneux/argileux/sableux	10° 22' 36,00 » Sud	58° 30' 14,70 » Ouest de Gr.
P/JU-38	B	Fazenda Preciosa	Limoneux/sableux	10° 24' 14,44 » Sud	58° 31' 00,96 » Ouest de Gr.

A6. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone dans les sols collectés, dans la Fazenda São Nicolau, dans l'Assentamento Vale do Amanhecer et dans la Fazenda Preciosa.

A6.1. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda São Nicolau – (Tableaux 10.13).

Echantillons	Fazenda São Nicolau	Points	Epaisseur du sol	Densités des sols	Stock de carbone
			30 cm	g/cm ³	kg/m ²
P1	CO	A	30.0	1,21	2,13
	CO	B	30.0	1,25	2,20
	CO	C	30.0	1,25	2,08
P2	CO	A	30.0	1,34	3,44
	CO	B	30.0	1,18	4,71
	CO	C	30.0	1,28	2,94
P3	CO	A	30.0	1,17	3,06
	CO	B	30.0	1,28	1,52
	CO	C	30.0	1,17	2,68
P4	CO	A	30.0	1,22	2,11
	CO	B	30.0	1,24	1,77
	CO	C	30.0	1,24	3,35
P5	CO	A	30.0	1,19	1,48
	CO	B	30.0	1,35	4,85
	CO	C	30.0	1,41	3,08
P6	CO	A	30.0	1,42	4,50
	CO	B	30.0	1,27	3,11
	CO	C	30.0	1,30	1,18
P7	CO	A	30.0	1,29	4,58
	CO	B	30.0	1,40	3,45
	CO	C	30.0	1,49	3,09
P8	CO	A	30.0	1,34	5,23
	CO	B	30.0	1,24	3,19
	CO	C	30.0	1,40	3,24
P9	CO	A	30.0	1,36	3,17
	CO	B	30.0	1,22	2,62
	CO	C	30.0	1,34	4,05
P10	CO	A	30.0	1,28	3,19
	CO	B	30.0	1,26	4,58
	CO	C	30.0	1,22	4,80
P11	CO	A	30.0	1,46	3,87
	CO	B	30.0	1,43	1,50
	CO	C	30.0	1,58	1,49
P12	CO	A	30.0	1,32	1,44
	CO	B	30.0	1,45	2,62
	CO	C	30.0	1,37	2,81
P13	CO	A	30.0	1,21	2,70
	CO	B	30.0	1,23	4,51
	CO	C	30.0	1,26	3,27
P14	CO	A	30.0	1,27	3,35
	CO	B	30.0	1,36	2,27
	CO	C	30.0	1,30	1,85
P15	CO	A	30.0	1,39	2,53
	CO	B	30.0	1,32	2,48
	CO	C	30.0	1,32	3,68
P16	CO	A	30.0	1,36	0,61
	CO	B	30.0	1,37	1,35
	CO	C	30.0	1,48	1,89
P17	CO	A	30.0	1,10	3,99
	CO	B	30.0	1,05	4,36
	CO	C	30.0	1,14	4,04
P18	CO	A	30.0	1,07	3,88
	CO	B	30.0	1,12	2,79
	CO	C	30.0	1,11	4,69
P19	CO	A	30.0	1,33	0,53
	CO	B	30.0	1,13	2,81
	CO	C	30.0	1,16	0,84
P20	CO	A	30.0	1,32	1,42
	CO	B	30.0	1,12	0,24
	CO	C	30.0	1,12	0,78
P21	CO	A	30.0	1,01	2,56
	CO	B	30.0	1,01	2,67
	CO	C	30.0	0,93	2,80
P22	CO	A	30.0	1,01	2,71
	CO	B	30.0	1,12	4,90
	CO	C	30.0	1,01	3,27
P23	CO	A	30.0	1,26	2,91
	CO	B	30.0	1,16	2,35

	CO	C	30.0	1,19	2,94
P24	CO	A	30.0	1,20	3,48
	CO	B	30.0	1,24	2,22
	CO	C	30.0	1,17	1,03
P25	CO	A	30.0	1,13	1,50
	CO	B	30.0	0,93	2,02
	CO	C	30.0	1,14	2,80
P26	CO	A	30.0	1,02	1,99
	CO	B	30.0	1,02	4,21
	CO	C	30.0	1,24	4,06
P27	CO	A	30.0	1,46	0,52
	CO	B	30.0	1,44	0,72
	CO	C	30.0	1,09	0,04
P28	CO	A	30.0	1,13	3,50
	CO	B	30.0	1,34	2,85
	CO	C	30.0	1,29	0,99
P29	CO	A	30.0	1,35	0,55
	CO	B	30.0	1,40	0,71
	CO	C	30.0	1,40	0,66
P30	CO	A	30.0	1,30	1,73
	CO	B	30.0	1,00	1,65
	CO	C	30.0	1,22	3,36
P31	CO	A	30.0	1,18	2,30
	CO	B	30.0	1,20	5,36
	CO	C	30.0	1,11	2,88
P32	CO	A	30.0	1,25	0,39
	CO	B	30.0	0,82	0,00
	CO	C	30.0	1,24	1,77
P33	CO	A	30.0	1,07	3,75
	CO	B	30.0	1,13	2,28
	CO	C	30.0	1,13	0,12
P34	CO	A	30.0	1,12	1,40
	CO	B	30.0	1,16	3,08
	CO	C	30.0	1,10	0,09
P35	CO	A	30.0	1,19	2,33
	CO	B	30.0	1,22	1,32
	CO	C	30.0	1,20	1,79
P36	CO	A	30.0	1,39	1,06
	CO	B	30.0	1,26	1,32
	CO	C	30.0	1,33	0,88
P37	CO	A	30.0	1,20	1,87
	CO	B	30.0	1,24	0,45
	CO	C	30.0	1,09	0,58

A6.2. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans l'Assentamento Vale do Amanhecer – (Tableaux 10.14).

Echantillons	Assentamento Vale do Amanhecer	Points	Epaisseur du sol	Densités des sols	Stock de carbone
P1	JU	A	30.0	1,54	1,49
	JU	B	30.0	1,18	4,69
	JU	C	30.0	1,16	2,97
P2	JU	A	30.0	1,06	4,01
	JU	B	30.0	1,24	3,19
	JU	B	30.0	1,10	6,17
P3	JU	A	30.0	0,75	5,12
	JU	B	30.0	1,13	0,37
	JU	C	30.0	1,25	3,49
P4	JU	A	30.0	1,13	5,96
	JU	B	30.0	1,00	2,91
	JU	C	30.0	1,00	2,71
P5	JU	A	30.0	1,22	5,93
	JU	B	30.0	1,07	4,72
	JU	C	30.0	1,11	7,50
P6	JU	A	30.0	1,00	5,16
	JU	B	30.0	1,03	2,21
	JU	C	30.0	1,15	5,04
P7	JU	A	30.0	1,14	5,71
	JU	B	30.0	1,26	4,77
	JU	C	30.0	1,15	5,45
P8	JU	A	30.0	1,13	3,62
	JU	B	30.0	1,21	4,96
	JU	C	30.0	1,24	3,51
P9	JU	A	30.0	1,24	3,36
	JU	B	30.0	1,23	3,53
	JU	C	30.0	1,12	4,61
P10	JU	A	30.0	1,15	5,56
	JU	B	30.0	1,19	5,01
	JU	C	30.0	1,30	5,50
P11	JU	A	30.0	1,22	4,56

	JU	B	30.0	1,26	5,25
	JU	C	30.0	1,17	4,97
P12	JU	A	30.0	1,21	4,87
	JU	B	30.0	1,18	3,36
	JU	C	30.0	1,27	4,28
P13	JU	A	30.0	1,29	2,88
	JU	B	30.0	1,31	3,87
	JU	C	30.0	1,41	3,13
P14	JU	A	30.0	1,17	5,94
	JU	B	30.0	1,39	4,40
	JU	C	30.0	1,04	5,17
P15	JU	A	30.0	1,02	8,89
	JU	B	30.0	1,09	3,12
	JU	C	30.0	1,18	3,42
P16	JU	A	30.0	1,39	2,19
	JU	B	30.0	1,34	5,01
	JU	C	30.0	1,35	1,91
P17	JU	A	30.0	1,29	3,60
	JU	B	30.0	1,33	5,62
	JU	C	30.0	1,09	4,15
P18	JU	A	30.0	1,08	2,71
	JU	B	30.0	1,16	3,40
	JU	C	30.0	1,15	4,32
P19	JU	A	30.0	1,15	7,20
	JU	B	30.0	1,21	3,54
	JU	C	30.0	1,08	1,84
P20	JU	A	30.0	1,14	2,37
	JU	B	30.0	1,07	1,92
	JU	C	30.0	1,35	1,83
P21	JU	A	30.0	1,16	6,29
	JU	B	30.0	1,41	4,86
	JU	C	30.0	1,16	5,33
P22	JU	A	30.0	1,12	1,00
	JU	B	30.0	1,12	4,41
	JU	C	30.0	1,38	4,65
P23	JU	A	30.0	1,15	6,15
	JU	B	30.0	1,15	2,34
	JU	C	30.0	1,09	1,02
P24	JU	A	30.0	1,04	3,31
	JU	B	30.0	1,16	3,67
	JU	C	30.0	1,19	1,87
P25	JU	A	30.0	1,00	4,19
	JU	B	30.0	1,00	1,79
	JU	C	30.0	1,00	4,04
P26	JU	A	30.0	1,00	3,25
	JU	B	30.0	1,00	3,54
	JU	C	30.0	1,00	3,49
P27	JU	A	30.0	1,00	3,74
	JU	B	30.0	1,00	1,51
	JU	C	30.0	1,00	0,78
P28	JU	A	30.0	1,00	2,55
	JU	B	30.0	1,00	3,22
	JU	C	30.0	1,00	2,36
P29	JU	A	30.0	1,00	0,86
	JU	B	30.0	1,00	3,69
	JU	C	30.0	1,00	2,02
P30	JU	A	30.0	1,00	2,43
	JU	B	30.0	1,00	4,48
	JU	C	30.0	1,00	4,12
P31	JU	A	30.0	1,00	1,45
	JU	B	30.0	1,00	2,91
	JU	C	30.0	1,00	2,71
P32	JU	A	30.0	1,00	2,32
	JU	B	30.0	1,00	3,81
	JU	C	30.0	1,00	2,17
P35	JU	A	30.0	1,00	4,99
	JU	B	30.0	1,00	2,31
	JU	C	30.0	1,00	2,67
P36	JU	A	30.0	1,00	2,95
	JU	B	30.0	1,00	2,22
	JU	C	30.0	1,00	2,40
P37	JU	A	30.0	1,00	4,03
	JU	B	30.0	1,00	2,09
	JU	C	30.0	1,00	2,58
P38	JU	A	30.0	1,00	3,53
	JU	B	30.0	1,00	2,20
	JU	C	30.0	1,00	3,23
P39	JU	A	30.0	1,00	1,69
	JU	B	30.0	1,00	1,83
	JU	C	30.0	1,00	3,37
P40	JU	A	30.0	1,00	1,25

	JU	B	30.0	1,00	0,72
	JU	C	30.0	1,00	0,36
P41	JU	A	30.0	1,00	1,56
	JU	B	30.0	1,00	0,42
	JU	C	30.0	1,00	0,00
P42	JU	A	30.0	1,00	3,76
	JU	B	30.0	1,00	4,94
	JU	C	30.0	1,00	2,24
P43	JU	A	30.0	1,00	4,37
	JU	B	30.0	1,00	3,19
	JU	C	30.0	1,14	1,28
P44	JU	A	30.0	1,13	2,27
	JU	B	30.0	1,28	3,21
	JU	C	30.0	1,26	3,28
P45	JU	A	30.0	1,12	2,21
	JU	B	30.0	1,27	2,77
	JU	C	30.0	1,13	5,09
P46	JU	A	30.0	1,09	4,67
	JU	B	30.0	1,14	7,50
	JU	C	30.0	1,13	0,94
P47	JU	A	30.0	1,10	1,99
	JU	B	30.0	1,13	3,73
	JU	C	30.0	1,21	2,15
P50	JU	A	30.0	1,30	4,58
	JU	B	30.0	1,23	3,40
	JU	C	30.0	1,05	4,39
P51	JU	A	30.0	1,13	3,55
	JU	B	30.0	1,13	3,86
	JU	C	30.0	1,22	0,74
P52	JU	A	30.0	1,34	1,76
	JU	B	30.0	1,09	6,14
	JU	C	30.0	1,28	3,53
P53	JU	A	30.0	1,12	4,17
	JU	B	30.0	1,28	2,73
	JU	C	30.0	1,21	5,34
P54/JU	Fazenda	A	30.0	1,24	2,99
	Fazenda	B	30.0	1,27	3,34
	Fazenda	C	30.0	1,13	3,47
P55/JU	Fazenda	A	30.0	1,07	5,27
	Fazenda	B	30.0	1,16	5,95
	Fazenda	C	30.0	1,04	6,97
P56/JU	Fazenda	A	30.0	1,02	7,07
	Fazenda	B	30.0	1,04	7,26
	Fazenda	C	30.0	1,05	6,13

A6.3. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda Preciosa – (Tableaux 10.15).

Echantillons	Fazenda Preciosa	Points	Epaisseur du sol	Densités des sols	Stock de carbone
P33	JU	A	30.0	1,00	1,12
	JU	B	30.0	1,00	3,67
	JU	C	30.0	1,00	4,16
P34	JU	A	30.0	1,00	3,26
	JU	B	30.0	1,00	3,67
	JU	C	30.0	1,00	2,57
P35	JU	A	30.0	1,00	4,99
	JU	B	30.0	1,00	2,31
	JU	C	30.0	1,00	2,67
P36	JU	A	30.0	1,00	2,95
	JU	B	30.0	1,00	2,22
	JU	C	30.0	1,00	2,40
P37	JU	A	30.0	1,00	4,03
	JU	B	30.0	1,00	2,09
	JU	C	30.0	1,00	2,58
P38	JU	A	30.0	1,00	3,53
	JU	B	30.0	1,00	2,20
	JU	C	30.0	1,00	3,23
P39	JU	A	30.0	1,00	1,69
	JU	B	30.0	1,00	1,83
	JU	C	30.0	1,00	3,37
P40	JU	A	30.0	1,00	1,25
	JU	B	30.0	1,00	0,72
	JU	C	30.0	1,00	0,36
P41	JU	A	30.0	1,00	1,56
	JU	B	30.0	1,00	0,42
	JU	C	30.0	1,00	0,00
P42	JU	A	30.0	1,00	3,76
	JU	B	30.0	1,00	4,94
	JU	C	30.0	1,00	2,24

P43	JU	A	30.0	1,14	4,37
	JU	B	30.0	1,13	3,19
	JU	C	30.0	1,28	1,28
P44	JU	A	30.0	1,21	2,27
	JU	B	30.0	1,12	3,21
	JU	C	30.0	1,27	3,28
P45	JU	A	30.0	1,13	2,21
	JU	B	30.0	1,09	2,77
	JU	C	30.0	1,14	5,09
P48	JU	A	30.0	1,33	2,13
	JU	B	30.0	1,24	3,50
	JU	C	30.0	1,27	2,63

B. Types des espèces végétales prédominants et temps des sols dans les exploitations (Tableaux 10.16).

Points échantillonnées	Déboisement	Réboisement	Temps des sols "dénudés"	Type de Végétation
P1B_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P1A_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P1C_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P2B_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P2A_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P2C_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê Branco
P3B_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P3A_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P3C_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P4B_S	-	-	-	Forêt basse
P4A_S	-	-	-	Forêt basse
P4C_S	-	-	-	Forêt basse
P5B_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P5A_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P5C_S	1986	1999-2000	13 ans	Teca – Freijó
P6B_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê rosa – Freijó
P6A_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê rosa – Freijó
P6C_S	1986	1999-2000	13 ans	Ipê rosa – Freijó
P7B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P7A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P7C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P8B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P8A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P8C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P9B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P9A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P9C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P10B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P10A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P10C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca
P11B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó

P11A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca - Freijó
P11C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P12B_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P12A_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P12C_S	1984	1999-2000	15 ans	Teca – Freijó
P13B_S	1987	2006	19 ans	Pâturage
P13A_S	1987	2006	19 ans	Pâturage
P13C_S	1987	2006	19 ans	Pâturage
P14B_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P14A_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P14C_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P15B_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P15A_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P15C_S	1987	1999-2000	12 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P16B_S	1994	1999-2000	5 ans	Gonçaleiro-Mutamba
P16A_S	1994	1999-2000	5 ans	Gonçaleiro-Mutamba
P16C_S	1994	1999-2000	5 ans	Gonçaleiro-Mutamba
P17B_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê Branco
P17A_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê Branco
P17C_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê Branco
P18B_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê rosa – Freijó
P18A_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê rosa – Freijó
P18C_S	1987	1999-2000	12 ans	Ipê rosa – Freijó
P19B_S	1994	1999-2000	5 ans	Figueira Branca-Jamelão
P19A_S	1994	1999-2000	5 ans	Figueira Branca-Jamelão
P19C_S	1994	1999-2000	5 ans	Figueira Branca-Jamelão
P20B_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P20A_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P20C_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P21B_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P21A_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P21C_S	1994	2004	10 ans	Pâturage
P22B_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P22A_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P22C_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P23B_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P23A_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P23C_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca – Freijó
P24B_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca
P24A_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca
P24C_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca
P25B_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca
P25A_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca

P25C_S	1994	1999-2000	5 ans	Teca
P26B_S	-	-	-	Forêt basse
P26A_S	-	-	-	Forêt basse
P26C_S	-	-	-	Forêt basse
P27B_S	-	-	-	Forêt basse
P27A_S	-	-	-	Forêt basse
P27C_S	-	-	-	Forêt basse
P28B_S	-	-	-	Forêt basse
P28A_S	-	-	-	Forêt basse
P28C_S	-	-	-	Forêt basse
P29B_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P29A_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P29C_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P30B_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P30A_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P30C_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P31B_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P31A_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P31C_S	1992	-	-	Babaçu-Escova de Macaco
P32A_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P32C_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P33B_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P33A_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P33C_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P34B_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P34A_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P34C_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P35B_S	1992	2001-2002	9 ans	Teca – Freijó
P35A_S	1992	2001-2002	9 ans	Teca – Freijó
P35C_S	1992	2001-2002	9 ans	Teca – Freijó
P36B_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P36A_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P36C_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P37B_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P37A_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P37C_S	1992	2002-2003	9 ans	Cajazeira-Figueira Branca
P1B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P1A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P1C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P2B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P2A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P2C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P3B_A	1999-2000	-	-	Pâturage

P3A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P3C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P4B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P4A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P4C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P5B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P5A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P5C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P6B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P6A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P6C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P7B_A	-	-	-	Forêt
P7A_A	-	-	-	Forêt
P7C_A	-	-	-	Forêt
P8B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P8A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P8C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P9B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P9A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P9C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P10B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P10A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P10C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P11B_A	1999-2000	-	-	Pâturages en formation
P11A_A	1999-2000	-	-	Pâturages en formation
P11C_A	1999-2000	-	-	Pâturages en formation
P12B_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P12A_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P12C_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P13B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P13A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P13C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P14B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P14A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P14C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P15B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P15A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P15C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P16B_A	1999-2000	-	-	Café et de noix de coco
P16A_A	1999-2000	-	-	Café et de noix de coco
P16C_A	1999-2000	-	-	Café et de noix de coco
P17B_A	-	-	-	Forêt
P17A_A	-	-	-	Forêt

P17C_A	-	-	-	Forêt
P18B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P18A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P18C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P19B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P19A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P19C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P20B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P20A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P20C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P21B_A	-	-	-	Forêt
P21A_A	-	-	-	Forêt
P21C_A	-	-	-	Forêt
P22B_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P22A_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P22C_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P23B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P23A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P23C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P24B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P24A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P24C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P25B_A	1999-2000	-	-	Pâturage abandonné
P25A_A	1999-2000	-	-	Pâturage abandonné
P25C_A	1999-2000	-	-	Pâturage abandonné
P26B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P26A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P26C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P27B_A	-	-	-	Forêt
P27A_A	-	-	-	Forêt
P27C_A	-	-	-	Forêt
P28B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P28A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P28C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P29B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P29A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P29C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P30B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P30A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P30C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P31B_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P31A_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P31C_A	1999-2000	-	-	Capoeira

P32B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P32A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P32C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P46B_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P46A_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P46C_A	1999-2000	-	-	Capoeira
P47B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P47A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P47C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P49B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P49A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P49C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P50B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P50A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P50C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P51B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P51A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P51C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P52B_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P52A_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P52C_A	1999-2000	-	-	Pâturage
P54B_A	-	-	-	Forêt
P54A_A	-	-	-	Forêt
P54C_A	-	-	-	Forêt
P55B_A	-	-	-	Forêt
P55A_A	-	-	-	Forêt
P55C_A	-	-	-	Forêt
P56B_A	-	-	-	Forêt
P56A_A	-	-	-	Forêt
P56C_A	-	-	-	Forêt
P33B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P33A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P33C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P34B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P34A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P34C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P35B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P35A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P35C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P36B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P36A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P36C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P37B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage

P37A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P37C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P38B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P38A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P38C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P39B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P39A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P39C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P40B_P	-	-	-	Teca
P40A_P	-	-	-	Teca
P40C_P	-	-	-	Teca
P41B_P	-	-	-	Teca
P41A_P	-	-	-	Teca
P41C_P	-	-	-	Teca
P42B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P42A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P42C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P43B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P43A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P43C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P44B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P44A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P44C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P45B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P45A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P45C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P48B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P48A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P48C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P53B_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P53A_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage
P53C_P	1978 - 1979	-	-	Pâturage

C. Photos des équipements utilisés dans les analyses physico-chimiques (Photos 6.2 à 6.5)

Annexe C	Equipements du laboratoire des sols de la FAMEVZ/UFMT utilisés dans les analyses physico-chimiques (Photographies : L.-A. Nascimento, août 2012).....	279
Photo 6.2	Etuve pour le séchage et stérilisation des sols TR 1050 300°C....	279
Photo 6.3	Moufle pour la matière organique marque : QUIMIS.....	279
Photo 6.4	Chapelle d'Exhaustion – Four pour les Sols.....	280
Photo 6.5	Bloc Digesteur de Carbone.....	280



Photo 6.2. Etuve pour le séchage et stérilisation des sols TR 1050 300°C.



Photo 6.3. Moufle pour la matière organique marque : QUIMIS.



Photo 6.4. Chapelle d'Exhaustion – Four pour les Sols.



Photo 6.5. Bloc Digesteur de Carbone.

D. Photos des équipements utilisés dans les analyses spectrométriques par la fluorescence des rayons X et par la diffraction des rayons X (Photos 6.6 à 6.8).

Annexe D	Equipements du Laboratoire LAMUTA/UFMT utilisés dans les analyses spectrométriques par la fluorescence des rayons X et par la diffraction des rayons X (Photographies : L.-A. Nascimento, août 2012).....	280
Photo 6.6	Presse du type PCA 40, Marque : TECLAGO.....	281
Photo 6.7	Appareil Marque : <i>Spectrometer SHIMADZU RAY ny-EDX-700 HS</i> , avec Energie Dispersive – Rayon X.....	281
Photo 6.8	Diffractomètre Marque : <i>LAB X – XRD 6000 SHIMADZU</i> . Nous utilisons l’Azote liquide.....	281



Photo 6.6. Presse du type PCA 40, Marque : TECLAGO.



Photo 6.7. Appareil marque : Spectromètre *SHIMADZU RAY ry-EDX-700 HS*, avec energie dispersive – rayon X.



Photo 6.8. Diffractomètre Marque : *LAB X - XRD 6000 SHIMADZU*. Nous utilisons l'Azote liquide.

Sources utilisées

Télédétection

Images satellitaires

INPE – Ville de São José dos Campos – État de São Paulo, Brasil.

Images *LANDSAT / TM-05*.

Fazenda São Nicolau – Commune de Cotriguaçu – État de Mato Grosso.

Préfecture Municipale de Juruena – Ville de Juruena – État de Mato Grosso. Brasil.

Télédétection :

Images de satellite : Echelle 1 : 100.000.

Images de Radar : Echelles 1 : 100.000, 1 : 250.000 et 1 : 1000.000.

Modele Numérique du Terrain

Fazenda São Nicolau – Commune de Cotriguaçu – État de Mato Grosso. Brasil.

Fazenda Preciosa – Commune de Juruena – État de Mato Grosso. Brasil.

Assentamento Vale do Amanhecer – Commune de Juruena – État de Mato Grosso. Brasil.

Ministério do Exército/Ministère de l'Armée de Terre du Brésil

Diretoria de Serviço Geográfico, actuelle Diretoria de Cartografia Digital, Brasília, DF, Brasil.

Cartes Topographiques :

Feuilles :

Aripuanã – sigle : SC.21-Y-A.

Igarapé do Noca – indice de nomenclature : SC.21-V-D-V.

Rio Aripuanã – sigle : SC.21-V-C.

Rio São João da Barra – indice de nomenclature : SC.21-V-D.IV

Tapaiuna – MIR 298 / Sigle : SC.21-Y-B.

IBGE

Ville de Cuiabá, État de Mato Grosso, Brasil.

Carte topographique du Brésil au millionième.

INCRA

Lois et Décrets sur la Création de l'Assentamento Vale do Amanhecer.

MME

Projeto RADAMBRASIL

Cartes : Géologique, Géomorphologique, Pédologie et Levé Exploratoire des Sols, Végétation et L'Usage Potentiel de la Terre (1980) – Echelle 1 : 1.000.000.

UFMT

ICHS – DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – Archives du GEOPLANC – Grupo de Estudos Geocientíficos, de Planejamentos e Consultorias. Cuiabá, État de Mato Grosso, Brasil.

Archives de la Division de Cartographie du Département de Géographie de l'UFMT.

ICET – DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS.

Archives cartographiques.

UNIVERSITE RENNES 2

Laboratoire COSTEL – Climat et Occupation du Sol par Teledetection, Villejean, Rennes, France.

Département de Géographie et Aménagement de l'Espace, Villejean, Rennes, France.

CPRM / SECMIN. MT

Carte géologique et des ressources minérales de l'État de Mato Grosso – Echelle 1 : 1.000.000.

SEPLAN / MT

Archives de la Division de Cartographie.

Carte topographique/Feuille Aripuanã – Echelle 1 : 250.000.

Carte topographique/Feuille Igarapé do Noca – Echelle 1 : 100.000.

Carte topographique/Feuille Rio Aripuanã – Echelle 1 : 250.000.

Carte topographique/Feuille São João da Barra – Echelle 1 : 100.000.

Carte topographique/Feuille Tapaiuna – Echelle 1 : 250.000.

Carte géologique de l'État de Mato Grosso – Echelle 1 : 1.000.000.

SINFRA / MT

Carte Routière de l'État de Mato Grosso (2009)/Echelle 1 : 1.500.000.

Carte Routière de l'État de Mato Grosso (2012)/Echelle 1 : 1.500.000.

Table des figures

	Introduction générale.....	23
Figure 0.1	Carte de localisation des exploitations d'études dans les communes de Cotriguaçu et Juruena à l'État de Mato Grosso, Brasil.....	27
Partie 1	Le stockage du carbone : enjeux, contexte et méthodes.....	29
Chapitre 1	Le carbone et le stockage de carbone.....	33
Figure 1.1	Esquisse du Cycle du Carbone.....	36
Figure 1.2	Exemples de fluxes et stocks de carbone dans la nature.....	38
Chapitre 2	Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone.....	45
Figure 2.1	Le déboisement dans l'Amazonie brésilienne estimé par satellite.....	49
Chapitre 3	Les méthodes et techniques.....	57
Figure 3.1	L'organigramme général avec les thèmes et les méthodes utilisées dans la thèse.....	60
Figure 3.2	Spectre électromagnétique.....	62
Figure 3.3	Organigramme du traitement des images satellitaires.....	63
Figure 3.4	Localisation de points échantillonnés sur la Fazenda São Nicolau..	66
Figure 3.5	Répartition des points échantillonnés sur la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	67
Figure 3.6	Protocole suivi pour l'obtention des données pédologiques.....	69
Figure 3.7	Organigramme des analyses statistiques réalisées sur les échantillons de sol.....	72
Partie 2	Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	77
Chapitre 4	Le contexte régional.....	81
Figure 4.1	Bassin du Rio Juruena à l'État de Mato Grosso.....	84
Figure 4.2	Carte Hypsométrique / Modèle Numérique du Terrain de la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer à Juruena.....	85
Figure 4.3	Carte hydrographique qui présente le réseau de drainage des affluents du Rio Juruena sur la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	86

Figure 4.4	Carte Hypsométrique / Modèle Numérique de Terrain de la Fazenda São Nicolau.....	88
Figure 4.5	Carte hydrographique de la Fazenda São Nicolau. Nous pouvons remarquer aussi, dans le lit du Rio Juruena, une partie de l'Archipel São Nicolau.....	89
Figure 4.6	Carte géologique de la Fazenda Preciosa et de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	90
Figure 4.7	Carte géologique de la Fazenda São Nicolau, où affleurent les roches appartenant au Complexe Nova Monte Verde.....	91
Figure 4.8	Séquence schématique Ouest – Est au travers de la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	101
Figure 4.9	Séquence schématique Sud-ouest – Nord-est au travers de la Fazenda São Nicolau.....	102
Chapitre 5	Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés.....	103
Figure 5.1	Composition colorée (bandes 4, 3 et 2). Image Satellite LANDSAT TM-5, 2011.....	106
Figure 5.2	Comparaison entre les images de satellite Landsat TM 5 de 1987 et 2011 (CC 432) sur la Fazenda São Nicolau.....	107
Figure 5.3	Comparaison entre les images de satellite Landsat TM 5 de 1987 et 2011 (CC 432) sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	108
Figure 5.4	Typologie des composantes végétales obtenues à partir de l'analyse d'images satellitaires entre 1987 et 2011 et d'observations sur le terrain.....	109
Figure 5.5	Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur la Fazenda São Nicolau.....	111
	<i>Légende :</i> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage Reforestation Eau Sols nus </div>	
Figure 5.6	Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur la Fazenda Preciosa.....	113
	<i>Légende :</i> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage avec ligneux Pâturage Eau Sols nus </div>	
Figure 5.7	Distribution des classes thématiques d'occupation des sols et de la végétation sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	115
	<i>Légende :</i> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> Forêt haute Forêt basse Capoeira Pâturage avec ligneux Pâturage Eau Sols nus </div>	
Figure 5.8	Schéma de successions d'occupation des sols sur les exploitations (sans reboisements).....	117
Chapitre 6	Dynamique de l'Usage et de l'Occupation des Sols...	119
Figure 6.1	Dynamique de l'occupation des sols sur la Fazenda São Nicolau entre 1987 et 2011.....	122

Figure 6.2	Variations des différents thèmes de l'occupation des sols par année sur la Fazenda São Nicolau.....	122
Figure 6.3	Dynamique de l'occupation des sols sur la Fazenda Preciosa entre 1987 et 2011.....	123
Figure 6.4	Variations des différents thèmes de l'occupation des sols par année sur la Fazenda Preciosa.....	124
Figure 6.5	Dynamique de l'occupation des sols sur l'Assentamento Vale do Amanhecer entre 1987 et 2011.....	125
Figure 6.6	Variations de l'occupation des sols par année sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	126
Figure 6.7	Dynamique du déboisement dans les parcelles étudiées de la Fazenda São Nicolau.....	127
Figure 6.8	Les années de reboisement des parcelles échantillonnées de la Fazenda São Nicolau.....	128
Figure 6.9	Distribution des espèces dominantes sur les parcelles étudiées de la Fazenda São Nicolau.....	129
Figure 6.10	Distribution des différents types de SAF dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	131
Figure 6.11	Localisation des parcelles de culture de Teca sur la Fazenda Preciosa.....	133
Partie 3	La texture et les caractéristiques physico-chimiques des sols des aires étudiées.....	139
Chapitre 7	Les paramètres physico-chimiques et géochimiques des sols.....	143
Figure 7.1	La texture des sols de la Fazenda São Nicolau.....	146
Figure 7.2	La texture des sols de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	147
Figure 7.3	La texture des sols de la Fazenda Preciosa.....	148
Figure 7.4	Cercle de corrélation des trois fractions granulométriques entre les 278 échantillons.....	149
Figure 7.5	Application de la classification en 7 classes sur les axes.....	149
Figure 7.6	Application de la classification en 9 classes sur les axes.....	150
Figure 7.7	Esquisse cartographique des classes texturales des sols sur la Fazenda São Nicolau.....	151
Figure 7.8	Esquisse cartographique des classes texturales des sols sur la Fazenda Preciosa et l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	153
Figure 7.9	Relation entre la matière organique, le carbone et les classes de textures des sols.....	158
Figure 7.10	Cercle de corrélation entre les données physico-chimiques des sols. Plan 1-2.....	159
Figure 7.11	Cercle de corrélation entre les données physico-chimiques des sols. Plan 3-4.....	159

Figure 7.12	Cercle de corrélation (plan 1-2 et 3-4) de l'ACP sur les composantes chimiques et géochimiques du sol.....	164
Chapitre 8	Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol.....	169
Figure 8.1	Distribution des valeurs de stock de Carbone dans les trois exploitations.....	172
Figure 8.2	La répartition des classes de stockage par exploitation en pourcentage.....	174
Figures 8.3	Les corrélations texture / classes de stockage de carbone. A : le cercle de corrélation (plan 1-2) ; b : la <i>S-class</i> entre les classes de carbone et les textures des sols.....	175
Figures 8.4	Relations entre les classes de stockage de carbone et l'argile, le sable et le limon sur les terrains d'étude (<i>en ordonnées les % de chacune des fractions</i>).....	175
Figure 8.5	Box plot illustrant les relations entre les classes de stockage de carbone et la teneur en matière organique dans l'ensemble des sites d'étude (<i>en ordonnées les % de M.O.</i>).....	177
Figure 8.6	Relations entre les classes de stockage de carbone et le pH, dans l'ensemble des sites étudiés.....	178
Figure 8.7	Relations entre les classes de stockage de carbone et la CEC dans l'ensemble des sites étudiés.....	178
Figure 8.8	Relations entre les classes de stockage de carbone et Ca+Mg dans l'ensemble des sites étudiés.....	178
Figure 8.9	Relation entre les classes de stockage de carbone et le SiO ₂	180
Figure 8.10	Relation entre les classes de stockage de carbone et l'indice d'altération du sol (Ki).....	180
Figure 8.11	Distribution des 8 classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa.....	182
Figure 8.12	La distribution des 8 classes de stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	183
Figure 8.13	La distribution des 8 classes de stock de carbone sur la Fazenda São Nicolau.....	184
Figure 8.14	Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	186
Figure 8.15	Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur la Fazenda Preciosa.....	187
Figure 8.16	Les classes de stock de carbone et les textures du sol sur la Fazenda São Nicolau.....	188
Chapitre 9	Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols.....	193
Figure 9.1	Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	196
Figure 9.2	Répartition des forêts hautes et basses et des classes de stockage de carbone dans l'Assentamento Vale do	

	Amanhecer.....	197
Figure 9.3	Capoeira et stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	198
Figure 9.4	La distribution des pâturages et pâturages avec ligneux et les classes de stock de carbone sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	199
Figure 9.5	Les sols nus et les classes de stock de carbone dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	200
Figure 9.6	Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur la Fazenda Preciosa.....	201
Figure 9.7	Distribution des forêts hautes et basses et des classes de stock de carbone dans la Fazenda Preciosa.....	202
Figure 9.8	Distribution des Capoeiras et des classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa.....	203
Figure 9.9	La distribution des pâturages et pâturages avec ligneux et les classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa.....	204
Figure 9.10	La distribution des sols nus et les classes de stock de carbone sur la Fazenda Preciosa.....	205
Figure 9.11	Rapports stocks de carbone / occupation du sol sur la Fazenda São Nicolau.....	206
Figure 9.12	Distribution de forêts hautes et forêts basses basses et des classes de stock de carbone dans la Fazenda São Nicolau.....	208
Figure 9.13	Distribution des Capoeiras et des classes de stock de carbone dans la Fazenda São Nicolau.....	209
Figure 9.14	La reforestation et les classes de stock de carbone dans la Fazenda São Nicolau.....	210
Figure 9.15	Les principales espèces et associations de espèces implantées sur la Fazenda São Nicolau et les rapports avec les stocks de carbone.....	211
Figure 9.16	La distribution des formations basses et des classes de stock de carbone dans la Fazenda São Nicolau.....	213

Table des tableaux

Partie 1	Le stockage du carbone : enjeux, contexte et méthodes.....	29
Chapitre 3	Les méthodes et techniques.....	57
Tableau 3.1	Documents utilisés.....	61
Partie 2	Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	77
Chapitre 4	Le contexte régional.....	81
Tableau 4.1	Moyennes des températures et précipitations mensuelles à la station de Cotriguaçu entre 2005 et 2014.....	93
Chapitre 5	L'Usage du Sol dans les Aires Etudiées.....	103
Tableau 5.1	Le Coefficient de Kappa d'après Barbosa (2009).....	110
Chapitre 6	Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	119
Tableau 6.1	Dynamique des différentes thèmes de l'occupation des sols dans la Fazenda São Nicolau entre 1987 et 2011.....	121
Tableau 6.2	Dynamique des différentes thèmes de l'occupation des sols sur la Fazenda Preciosa entre 1987 et 2011.....	123
Tableau 6.3	Dynamique des différentes thèmes de l'occupation des sols dans l'Assentamento Vale do Amanhecer entre 1987 et 2011.....	125
Partie 3	Les Propriétés Physico-Chimiques et Géochimiques des Sols.....	139
Chapitre 7	Les Propriétés Physico-Chimiques et Géochimiques des Sols.....	143
Tableau 7.1	La composition granulométrique des sols échantillonnés sur les 3 exploitations.....	145
Tableau 7.2	Caractéristiques texturales dominantes des sols des trois exploitations.....	148
Tableau 7.3	Les 9 classes texturales adoptées.....	150
Tableau 7.4	Les paramètres chimiques des sols des trois exploitations.....	155
Tableau 7.5	Les valeurs de M.O. et de Carbone par exploitation.....	156
Tableau 7.6	Les classes des valeurs de M.O. et de Carbone (Tomé Júnior, 1997).....	156
Tableau 7.7	Valeurs de M.O. et de Carbone par classe texturale.....	157
Tableau 7.8	Les valeurs de variance de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques.....	158
Tableau 7.9	La composition géochimique des échantillons de sols par exploitations (les oxydes sont exprimés en %, le Ki en valeur absolue).....	162

Tableau 7.10	La compositions géochimique par classe texturale.....	162
Planche 7.1	Diffractogrammes des huit échantillons qui représentent les 78 échantillons analysés par la diffraction des rayons X.....	163
Tableau 7.11	Les valeurs de variance cumulée de l'ACP sur les paramètres physico-chimiques.....	164
Chapitre 8	Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol.....	169
Tableau 8.1	Valeurs extrêmes et moyennes de stock de carbone exprimées en kg/m ²	171
Tableau 8.2	Les valeurs de stock de carbone par classe texturale.....	172
Tableau 8.3	Les valeurs de carbone et de stock de carbone pour chaque classe de stockage.....	173
Tableau 8.4	Les regroupements de classes sur les trois exploitations.....	181
Chapitre 9	Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols.....	193
Tableau 9.1	Correspondance entre les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	218
Tableau 9.2	Correspondance entre les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol de la Fazenda Preciosa.....	219
Tableau 9.3	Correspondance entre les classes de stockage de carbone, les textures et l'occupation du sol de la Fazenda São Nicolau.....	220
Annexes		
Annexes A	A. Resultats Analytiques Complets.....	254
A1	A1. Analyses physico-chimiques pour le carbone et la matière organique.....	254
Tableaux 10.1	A1.1. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans l'aire de la Fazenda São Nicolau en Cotriguaçu.....	254
Tableaux 10.2	A1.2. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans les aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa en Juruena.....	255
Tableau 10.3	A1.3. Classes de stocks de carbone utilisées dans la cartographie..	256
A2	A2. Résultats généraux des analyses physico-chimiques des sols.....	256
Tableaux 10.4	A2.1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	256
Tableaux 10.5	A2.2. Résultats des analyses physico-chimiques des sols des aires	

	de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	258
A3	A3. Résultats de l'analyse de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X.....	260
Tableaux 10.6	A3.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	260
Tableaux 10.7	A3.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	261
Tableaux 10.8	A3.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	262
A4	A4. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols des aires de la Fazenda São Nicolau, de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	263
Tableaux 10.9	A4.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	263
Tableaux 10.10	A4.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	264
Tableaux 10.11	A4.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	266
A5	A5. Résultats analytiques de la diffraction par les rayons X des soixante dix-huit échantillons analysés sur le total de 279..	267
A6	A6. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone dans les sols collectés, dans la Fazenda São Nicolau, dans l'Assentamento Vale do Amanhecer et dans la Fazenda Preciosa.....	268
Tableaux 10.13	A6.1. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda São Nicolau.....	268
Tableaux 10.14	A6.2. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	269
Tableaux 10.15	A6.3. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda Preciosa.....	271
B	B. Types des espèces végétales prédominants et temps des sols dans les exploitations.....	272

Table des photographies

Partie 2	Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans les secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	77
Chapitre 4	Le contexte régional.....	81
Photo 4.1	Le Rio Juruena à proximité de la Fazenda São Nicolau où émerge une série d'îles, parmi lesquelles l'Archipel São Nicolau.....	84
Photo 4.2	District de Juruena à proximité de la route d'Etat MT-170, au voisinage de la Fazenda Preciosa. Partie sommitale du secteur d'étude.....	86
Photo 4.3	Les hauts sommets à l'Ouest de la Fazenda Preciosa.....	87
Photo 4.4	Affleurements rocheux en forme de boules sur le sommet du relief à l'Ouest de la Fazenda São Nicolau.....	87
Photo 4.5	Affleurements de roches granitiques de la « Suite Intrusive São Romão » sur les sommets de la Fazenda Preciosa.....	90
Photos 4.6 (a, b)	a : Boule de gneiss granitiques du « Complexe Nova Monte Verde » en semi affleurement. Sommet de la Fazenda São Nicolau ; b. Détail d'une boule de gneiss granitique du « Complexe Nova Monte Verde ». Fazenda São Nicolau.....	92
Photo 4.7	Dépôt ferrugineux de la Couverture Détritico-Latéritique Ferrugineuse du Tertiaire sur la Fazenda São Nicolau.....	92
Photo 4.8	Forêts alluviales sur les rives du Rio Juruena dans le secteur Sud-est de la Fazenda São Nicolau.....	94
Photo 4.9	Une « Castanheira do Pará » (<i>Bertholetia excelsa</i> , HBK.), à la limite de la Fazenda Preciosa.....	94
Photo 4.10	Strate arborée d'une forêt secondaire au Sud-est de la Fazenda São Nicolau.....	95
Photos 4.11 (a, b)	a. Parcelle en Capoeira dans l'Assentamento Vale do Amanhecer. b. Vue de l'intérieur d'une parcelle en Capoeira dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	95
Photo 4.12	Exemple de pâturages avec ligneux.....	96
Photo 4.13	« Embaúba » sur pâturages ligneux de la Fazenda São Nicolau.....	96
Photo 4.14	Plantations de cocos et de caféiers dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	97
Photo 4.15	Détails des plantations de « Tecas » dans les terrains de la Fazenda Preciosa.....	97
Photo 4.16	Argisol, au Sud de l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	98

Photo 4.17	Latosol développé dans un petit relief rocheux au bord de la route MT-170, à l'Ouest des terrains de la Fazenda Preciosa.....	98
Photo 4.18	Regosols développés sur Fazenda Preciosa sur les granites grisâtres de la Suite Intrusive São Romão (Domaine Juruena).....	99
Photo 4.19	Lithosols ou Entisols développés dans les voisinages de la Fazenda Preciosa sur les granites roses fins de la Suite Intrusive São Romão (Domaine Juruena).....	99
Photo 4.20	Quartzipsamment en rive gauche du Rio Juruena, où la sédimentation alluvionnaire est récente.....	100
Chapitre 6	Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	119
Photo 6.1	Parcelle de l'Assentamento Vale do Amanhecer après le nettoyage par brûlis.....	132
Annexes		
Photo 6.2	Etuve pour le séchage et stérilisation des sols TR 1050 300°C.....	279
Photo 6.3	Moufle pour la matière organique marque : QUIMIS.....	279
Photo 6.4	Chapelle d'Exhaustion – Four pour les Sols.....	280
Photo 6.5	Bloc Digesteur de Carbone.....	280
Photo 6.6	Presse du type PCA 40, Marque : TECLAGO.....	281
Photo 6.7	Appareil Marque : <i>Spectrometer SHIMADZU RAY ny-EDX-700 HS</i> , avec Energie Dispersive – Rayon X.....	281
Photo 6.8	Diffractomètre <i>Marque : LAB X – XRD 6000 SHIMADZU</i> . Nous utilisons l'Azote liquide.....	281

Tables des Matières

<i>Dédicace</i>	7
Liste de sigles, d'abréviations et glossaire.....	9
Nomenclature et symboles.....	15
<i>Remerciements</i>	17
Résumé.....	19
Abstract.....	20
Resumo.....	21
Introduction générale.....	23
Partie 1	
Le carbone et le stockage du carbone. Le REDD. La démarche générale.....	29
Introduction de la partie 1.....	31
Chapitre 1. Le carbone et le stockage du carbone.....	33
Introduction du chapitre 1.....	35
1.1. Le cycle du carbone.....	35
1.2. Les enjeux du stockage du carbone.....	37
1.2.1. Le carbone dans la biomasse.....	37
1.2.2. Le carbone dans les sols.....	39
1.2.3. Le carbone et l'occupation des sols.....	40
1.2.4. Le carbone et la texture des sols.....	41
Conclusion du chapitre 1.....	43
Chapitre 2. Mécanismes et actions pour la réduction des gaz à effet de serre : Des REDD aux expériences de puits de carbone.....	45
Introduction du chapitre 2.....	47
2.1. Le concept de REDD.....	47
2.2. Le contexte du REDD.....	48
2.3. L'importance du REDD.....	48
2.4. Les projets du REDD au Brésil.....	49
2.5. Le REDD et les populations qui dépendent de la forêt.....	50
2.6. L'évaluation financière des projets REDD.....	50
2.7. Les défis pour le REDD.....	52
2.8. Les projets de stockage de carbone et du REDD dans secteur d'étude.....	52
2.8.1. Projet puits de carbone.....	52
2.8.2. Le projet PETRA.....	53
2.8.3. Le Projet Poço de Carbone Juruena.....	53

Conclusion du chapitre 2.....	55
Chapitre 3. Les méthodes et techniques.....	57
Introduction du chapitre 3.....	59
3.1. Le volet agricole.....	61
3.1.1. Le traitement des images satellites.....	61
3.1.2. Les choix des images et l'échantillonnage.....	65
3.2. Le volet pédologique.....	67
3.2.1. Les analyses en laboratoires.....	68
3.2.1.1. Préparation des échantillons.....	68
3.2.1.2. Les analyses physico-chimiques et l'évaluation du carbone.....	68
3.2.1.3. Calcul du stock de carbone.....	70
3.2.1.4. Les analyses géochimiques et minéralogiques.....	70
3.2.2. Les analyses statistiques.....	71
Conclusion de la partie 1.....	75
Partie 2.	
Le contexte régional. Définitions des types d'occupation du sol dans le secteurs étudiés. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	77
Introduction de la partie 2.....	79
Chapitre 4. Le contexte régional.....	81
Introduction du chapitre 4.....	83
4.1. Le contexte régional.....	83
4.2. Les caractéristiques physiographiques des sites étudiés.....	85
4.3. Le Substrat géologique.....	89
4.4. Le Climat.....	93
4.5. La Végétation.....	93
4.5.1. Les espaces forestiers.....	93
4.5.2. Les espaces ouverts.....	96
4.6. Les Sols.....	97
4.6.1. Les sols tropicaux.....	97
4.6.2. Les sols peu évolués azonaux.....	99
Conclusion du chapitre 4.....	101
Chapitre 5. Définitions des types d'occupation du sol dans le secteurs étudiés.....	103
Introduction du chapitre 5.....	105
5.1. Les zones de Cotriguaçu et Juruena.....	105
5.2. La classification de l'occupation des sols dans les zones étudiées.....	109
5.2.1. Les classes de couverts végétaux.....	109
5.2.2. Les résultats de la classification appliqués aux différentes exploitations.....	110
Conclusion du chapitre 5.....	117

Chapitre 6. Les dynamiques de l'occupation des sols entre 1987 et 2011.....	119
Introduction du chapitre 6.....	121
6.1. Les évolutions dans les années 1987 à 2011.....	121
6.2. L'historique des usages des sols dans la Fazenda São Nicolau.....	126
6.2.1. Dynamique du déboisement.....	126
6.2.2. Dynamique du reboisement.....	127
6.3. L'usage des sols dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	130
6.4. L'usage des sols dans la Fazenda Preciosa.....	132
Conclusion du chapitre 6.....	135
Conclusion de la partie 2.....	137
Partie 3.	
Les paramètres physico-chimiques et géochimiques des sols des exploitations étudiées.....	139
Introduction de la partie 3.....	141
Chapitre 7. Les paramètres physico-chimiques et géochimiques des sols.....	143
Introduction du chapitre 7.....	145
7.1. Les grands types de textures des sols des exploitations.....	145
7.1.1. La classification par diagramme de texture.....	145
7.1.2. La classification par ACP.....	148
7.1.3. La répartition des classes texturales des sols sur les exploitations.....	151
7.2. Les caractères chimiques des sols.....	154
7.2.1. Des sols acides (ou à faible fertilité).....	154
7.2.2. La Matière Organique et le Carbone dans les sols étudiés.....	156
7.3. Les relations entre les paramètres physico-chimiques des sols.....	158
7.4. La composition géochimique et minéralogique de la fraction argileuse.....	160
7.4.1. La composition géochimique.....	160
7.4.2. La composition minéralogique de la fraction argileuse.....	163
7.5. Les relations entre caractères chimiques et géochimiques du sol.....	164
Conclusion du chapitre 7.....	167
Chapitre 8. Approche statistique et spatiale des interactions entre le stock de carbone et les propriétés du sol.....	169
Introduction du chapitre 8.....	171
8.1. Le stock de carbone.....	171
8.1.1. Les stocks de carbone enregistrés.....	171
8.1.2. Les classes de stockage de carbone dans les sols.....	172
8.2. Les classes de stockage de carbone et les propriétés du sol.....	174
8.2.1. Les propriétés texturales.....	174
8.2.2. La matière organique du sol.....	176
8.2.3. La CEC, les cations Ca+Mg et le pH.....	178

8.2.4. SiO ₂ et le Ki (indice d'altération).....	179
8.3. La cartographie des classes de stock de carbone.....	180
8.3.1. Méthodologie.....	180
8.3.2. Résultats.....	181
8.4. La répartition des classes de stockage de carbone et les textures des sols.....	185
Conclusion du chapitre 8.....	191
Chapitre 9. Les classes de stock de carbone et l'occupation des sols.....	193
Introduction du chapitre 9.....	195
9.1. Stock de carbone et occupation du sol sur l'Assentamento Vale do Amanhecer..	195
9.1.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol.....	195
9.1.2. La répartition des stocks de carbone et de l'occupation du sol sur l'assentamento.....	197
9.1.2.1. <i>Les formations forestières</i>	197
9.1.2.2. <i>Les formations ouvertes</i>	199
9.2. Stock de carbone et occupation du sol sur la Fazenda Preciosa.....	201
9.2.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol.....	201
9.2.2. La répartition des stocks de carbone et l'occupation du sol.....	202
9.2.2.1. <i>Les formations forestières</i>	202
9.2.2.2. <i>Les formations ouvertes</i>	204
9.3. Stock de carbone et occupation du sol sur la Fazenda São Nicolau.....	206
9.3.1. Les valeurs de stock de carbone et l'occupation du sol.....	206
9.3.2. La répartition des stocks de carbone et l'occupation du sol.....	207
9.3.2.1. <i>Les formations forestières</i>	207
9.3.2.2. <i>Les formations ouvertes</i>	212
Conclusion du chapitre 9.....	215
Synthèse et discussion de la partie 3.....	217
Conclusion générale.....	223
Bibliographie.....	229
Annexes.....	251
Sommaire.....	252
A. Resultats Analytiques Complets.....	254
A1. Analyses physico-chimiques pour le carbone et la matière organique.....	254
A1.1. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans l'aire de la Fazenda São Nicolau en Cotriguaçu..	254
A1.2. Résultats analytiques des teneurs en carbone et de la matière organique des échantillons des sols collectés dans les aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer	

et de la Fazenda Preciosa en Juruena.....	255
A1.3. Tableau des classes de stocks de carbone utilisées dans la cartographie.....	256
A2. Résultats généraux des analyses physico-chimiques des sols.....	256
A2.1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	256
A2.2. Résultats des analyses physico-chimiques des sols des aires de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	258
A3. Résultats de l'analyse de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X.....	260
A3.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	260
A3.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer..	261
A3.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments majeurs des sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	262
A4. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols des aires de la Fazenda São Nicolau, de l'Assentamento Vale do Amanhecer et de la Fazenda Preciosa.....	263
A4.1. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de la Fazenda São Nicolau.....	263
A4.2. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces des sols de l'aire de l'Assentamento Vale do Amanhecer...	264
A4.3. Résultats analytiques de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X pour les éléments traces dans les sols de l'aire de la Fazenda Preciosa.....	266
A.5. Résultats analytiques de la diffraction par les rayons X des soixante dix-huit échantillons analysés sur le total de 279.....	267
A6. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone dans les sols collectés, dans la Fazenda São Nicolau, dans l'Assentamento Vale do Amanhecer et dans la Fazenda Preciosa.....	268
A6.1. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda São Nicolau.....	268
A6.2. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans l'Assentamento Vale do Amanhecer.....	269
A6.3. Résultats des calculs des densités et des stocks de carbone des sols collectés dans la Fazenda Preciosa.....	271
B. Types des espèces végétales prédominants et temps des sols dans les exploitations.....	272
C. Photos des équipements utilisés dans les analyses physico-chimiques.....	279
D. Photos des équipements utilisés dans les analyses spectrométriques par la fluorescence des rayons X et par la diffraction des rayons X.....	280
Sources Utilisées.....	283
Table de Figures.....	287
Table de Tableaux.....	292
Table de Photographies.....	295

Résumé

Les changements d'utilisation des terres modifient les potentiels de stockage du carbone dans le sol. La déforestation et les techniques agricoles utilisées ont un impact significatif sur le cycle global du carbone et contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. L'objectif principal de cette thèse est donc de mettre en évidence les liens entre le stockage du carbone, les dynamiques d'occupation du sol et ses mises en valeur. Pour cette étude, nous avons utilisé les images de satellites sur la période 1987–2011 afin de classer les types d'occupations du sol. En effet, il ne s'agit pas uniquement de déterminer la quantité du carbone dans les sols mais également de vérifier le lien entre quantité de carbone et la gestion des sols dans des propriétés différentes. Les exploitations retenues sont situées au Nord-Ouest de l'État de Mato Grosso et ont été choisies pour leurs modes d'exploitation différents : la Fazenda São Nicolau sur la commune de Cotriguaçu où une politique de reforestation a été menée, la Fazenda Preciosa (qui représente le modèle traditionnel d'élevage) et l'Assentamento Vale do Amanhecer (système d'implantation récente fondé sur le partage des terres entre petits propriétaires ayant chacun une stratégie d'exploitation) sur la commune de Juruena. Les résultats montrent une fourchette de valeurs de stock de carbone entre 0,01 et 8,89 kg/m² distribuées de façon diversifiée entre les classes d'occupation du sol retenues. Une cartographie des classes de stock de carbone a permis de confronter celles-ci avec l'occupation des sols et les classes de texture. Nous avons constaté que les meilleures corrélations sont trouvées entre les classes de stock de carbone et certains types de forêt haute et entre les classes de stock de carbone et les textures argileuses. Par contre aucun mode d'occupation du sol ne semble avoir une influence radicale sur les stocks de carbone. Ce sont les pratiques culturelles et leur historique sur chaque exploitation qui permettent de mieux expliquer les résultats. Cette approche physico-chimique a visé principalement l'identification dans les régions étudiées des types de sols qui ont des niveaux plus élevés de la matière organique et les éléments nutritifs où le stockage de carbone est plus assuré. Donc, nous avons mené des études approfondies, à travers une cartographie pédologique régionale à l'échelle 1 : 100.000, en association avec le relief, le réseau hydrographique, le substrat géologique régional, les changements climatiques, la couverture végétale et les sols, et après la démarche générale, basée dans des organigrammes établies pour ces travaux. Tous cela, parallèlement à la cartographie des données sur les partitions physiques de ces domaines pour la télédétection. De cette manière nous avons réalisé quelques analyses, dans le domaine des analyses physico-chimiques, tout d'abord sur le carbone et de la matière organique, de la spectrométrie par la fluorescence des rayons X, de la diffraction des rayons X, de l'environnement géochimique – analyses statistiques, aussi bien que les calculs des densités dans les sols échantillonnés, dans un contexte géochimique pour la détermination des éléments qui sont associés au carbone et à la matière organique. Des études sur l'usage du sol ont été aussi effectuées. Les résultats qui nous avons obtenus dans cet ensemble de recherches nous amènent à proposer un nouveau modèle d'études pour la mise en place de nouvelles idées sur le REDD, ainsi que pour des données de l'organisation du stockage du carbone dans les aires distinctes étudiées, qui peuvent être extrapolées à d'autres régions et dans les interprétations objectives qui seront évidemment obtenues de cet ensemble de travaux.

Mots clés : Etat de Mato Grosso, Cotriguaçu, Juruena, stockage de carbone, REDD, sols, matière organique.

Abstract

The land use changes altered the carbon storage potential in the soil. The deforestation and agricultural techniques have a significant impact on the global carbon cycle and contribute to greenhouse gases. The main objective of this thesis is to highlight the links between carbon storage, land use and the dynamics. For this study, we used satellite images over the period 1987 – 2011, to classify types of land occupations. In fact, not only to determine the amount of carbon in the soil, but also to check the connection between the amount of carbon and land management in different properties. Farms operate in the northwestern part of the state of Mato Grosso were chosen for their different operating modes: the Fazenda São Nicolau, in the Cotriguaçu community, where a reforestation policy was designed, the Fazenda Preciosa (representing the traditional agricultural model) and the Assentamento Vale do Amanhecer (recent deployment system based on the division of land among smallholders, with each having an operating strategy) in the of Juruena community. Therefore, detailed studies were developed through a regional soil mapping at scale 1: 100,000 in association with relief, hydrographic network, the geological substratum, climate changes, the vegetation and soils, and following the methodology and the techniques based on established organizational charts for these jobs. All this, in addition to mapping data about the physical partitions of these areas by remote sensing. Thus were carried out some analysis: the physical and chemical analysis, of the fluorescence spectrometry X-rays, the diffraction of X-rays, the geochemical environments - statistical analyzes as well as calculate the densities of the sampled soils in a geochemical context for Determination of the elements are associated with the carbon and organic matter. Studies on land use were also conducted. The Results show a range of carbon stock values between 0.01 and 8.89 kg / m² distributed among diverse class of soil and selected for placement. Mappings of carbon stock classes allowed confront them with the land and the textural classes. The best correlations between carbon storage classes and certain types of high forest and carbon stock between the classes and the clayey textures were possible to find out that were found. Thus no way to land use seems to have a radical impact on carbon stocks; the cultural and historical practices of each farm better explain the results. This physicochemical approach primarily aimed at identifying the regions studied the soil types in their compositions that have higher levels of organic matter and nutrients where carbon storage is more assured. The results that were obtained in this research, lead us to propose a new model of studies to put into practice new ideas about REDD, as well as the organization's data of carbon storage in these different areas studied, which can be applied in other regions and objective interpretations that will of course be obtained in this body of work.

Key words: State of Mato Grosso, Cotriguaçu, Juruena, carbon storage, REDD, soils, organic matter.

